



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
FACOLTÀ DI SCIENZE MOTORIE



Scuola di Dottorato in Scienze Morfologiche, Fisiologiche e dello Sport
Dipartimento di Scienze Biomediche per la Salute
Corso di Dottorato in Scienze dello Sport XXV Ciclo

ONE LEG WHOLE-BODY VIBRATION EFFECTS ON MUSCULAR STRENGTH AND BALANCE ABILITY: TRAINED VS UNTRAINED LEG

Docente Tutor

Prof. Giampietro ALBERTI

Coordiatore del Corso di Dottorato

Chiar.mo Prof. Livio LUZI

Tesi di Dottorato di Ricerca

Luca BONFANTI

Matricola: R08520

Triennio Accademico

2010/2013

INDICE

ABSTRACT.....	4
INTRODUZIONE.....	7
CAPITOLO UNO: LE VIBRAZIONI.....	9
PRINCIPI FISICI.....	10
Le pedane: differenti tipi di dispositivi.....	12
I soggetti: l'importanza della postura.....	15
I protocolli: le diverse modalità di lavoro.....	19
LE RISPOSTE FISIOLOGICHE.....	20
Nel muscolo.....	22
Nel tessuto osseo.....	26
GLI STUDI SPERIMENTALI	29
Cenni storiografici del training vibratorio.....	29
Gli ambiti di ricerca della vibrazione.....	32
Studi generalizzati (WBV, basse\medie frequenze).....	33
Studi localizzati (HAV, alte frequenze).....	34
Stato della letteratura scientifica internazionale.....	36
Ambito sportivo.....	37
Effetti dell'allenamento vibratorio sulla forza isometrica.....	47
Ambito terapeutico.....	59
CAPITOLO DUE: L'ALLENAMENTO INCROCIATO.....	68
L'ALLENAMENTO INCROCIATO	69
LE EVIDENZE SCIENTIFICHE.....	71
I POSSIBILI MECCANISMI PER IL TRASFERIMENTO DI FORZA.....	74
Meccanismi muscolari.....	74
Meccanismi spinali.....	75
Meccanismi corticali.....	76
L'ALLENAMENTO INCROCIATO ED IL SISTEMA NERVOSO.....	81
IMPLICAZIONI DELL'ALLENAMENTO INCROCIATO.....	84
CONCLUSIONI.....	87
CAPITOLO TERZO: LO STUDIO SPERIMENTALE.....	89
SCOPO DELLA TESI.....	90
MATERIALI E METODI.....	93
Approccio sperimentale.....	93
Soggetti.....	94
Protocollo dello studio.....	95
Protocollo test	96
Antropometria.....	96
Elettromiografia di superficie.....	101
Massima Contrazione Volontaria.....	104
Test di salto verticale.....	106
Test di valutazione della capacità di equilibrio.....	108
Materiali.....	110
Plicometro Holtain 50 mm.....	110
MuscleLabTM 4020E	112

ONE LEG WHOLE-BODY VIBRATION EFFECTS ON MUSCULAR STRENGTH AND BALANCE ABILITY:
TRAINED VS UNTRAINED LEG

Cella di carico tipologia "S"	114
Microgate Optojump.....	116
Easytech Libra.....	118
Nemes Perform.....	120
Protocollo allenamento.....	122
Analisi statistica.....	125
Verifica della Ripetibilità.....	125
RISULTATI e DISCUSSIONE.....	128
Antropometria.....	128
Plicometria.....	129
Circonferenze.....	131
Elettromiografia di superficie (EMG).....	136
Vasto Laterale.....	136
Vasto Mediale.....	141
Massima contrazione volontaria (MVC).....	151
Test di salto verticale.....	159
Test di valutazione della capacità di equilibrio.....	164
CONCLUSIONI.....	169
BIBLIOGRAFIA.....	179

ABSTRACT

Introduction

Whilst exposure to vibration is traditionally regarded as perilous, recent research has focussed on potential benefits. Acute physiological responses to muscle vibration and to whole body vibration exercise are reviewed, as well as the training effects upon the musculature, bone mineral density and posture. Indeed, whole-body vibration training has recently received a lot of attention with reported enhancements of strength and power qualities in athletes (148). Unilateral strength training produces an increase in strength of the contralateral homologous muscle group. This process of strength transfer, known as cross education, is generally attributed to neural adaptations. It has been suggested that unilateral strength training of the free limb may assist in maintaining the functional capacity of an immobilised limb via cross education of strength (80). The aims of this study were to assess the effects of an 5-week periodized training program with whole-body vibration on cross education.

Methods

Nine healthy males ($24\pm3,35$ years; $1,76\pm0,04$ m; $72,22\pm6,59$ kg; $23,25\pm1,53$ kg/m²) performed 10 training sessions on whole-body vibrations platform (Nemes; Ergotest, Rome, Italy). They were exposed to a vibration load in monopodal half squat position at the muscles resonance frequency. Quadriceps femoris circumferences, vastus lateralis and medialis EMGs,

isometric maximal voluntary contraction (MVC), vertical jump (CMJb) and balance tests were performed before and after the conditioning program on trained limb and untrained contralateral. All data were analyzed with ICC (95% CI), Wilcoxon's and Student's t-test for paired data on SPSS v.15 software, and $P < 0,05$ was chosen as the significant rate.

Results and Discussion

Quadriceps femoris circumferences significantly increased after the conditioning program on trained limb and untrained contralateral ($p < 0,001$). Mean and best values in vastus lateralis EMGs significantly increased in trained limb ($p < 0,05$) but not in the contralateral untrained. Vastus medialis, however, did not significantly increase. All subjects significantly improved in MVC and CMJb both on trained leg ($p < 0,05$) and untrained contralateral ($p < 0,05$) while balance test showed significant improvements only in bipodalic ($p < 0,05$) and monopodalic trained limb executions.

Conclusions

Like other studies that have analyzed whole body vibration exercises, this survey indicates that a specific vibrations protocol can improve strength and power qualities both in training limb and untrained contralateral (29,91,148). This data support the theory of cross-education gains in the lower limbs following unilateral strength training (31,80). Therefore, more studies are needed to analyze the performances on whole-body vibrations platform and the effectiveness of cross strength training.

L'esperienza senza teoria è muta,
ma la teoria senza la pratica è cieca.

(A. Einstein – 1879/1955)

INTRODUZIONE

La vita di tutti i giorni è condizionata da innumerevoli sollecitazioni che determinano delle reazioni e cambiamenti più o meno permanenti del nostro organismo. Questi stimoli esterni, costanti o incostanti, hanno caratteristiche estremamente differenti ed influenzano ogni comportamento, movimento, decisione al quale siamo costantemente sottoposti in una integrazione continua di azioni e reazioni. Queste sollecitazioni sono definite come agenti stressanti (104,148). Ogni stimolo stressante è paragonabile a qualsiasi evento perturbatore dell'equilibrio di un organismo e può essere causa di eventi sia fisiologici che patologici. Un esempio concreto può essere ascrivibile alla forza di gravità che condiziona costantemente la vita dell'uomo fin dalla nascita modellandone l'omeostasi, le posture, gli atteggiamenti e le attività quotidiane. Tra le altre molteplici forme di stress come non citare le vibrazioni che, indotte o prodotte, rappresentano un fenomeno naturale determinante al quale gli uomini devono cercare di riadattarsi ogni giorno.

Basti pensare al momento in cui il piede prende contatto con il suolo durante il cammino: si producono vibrazioni che propagandosi nel sistema piede-suolo sollecitano le contrazioni muscolari; ciò è ancora più rimarcato durante la corsa, ove è stato valutato che nel momento in cui il tallone appoggia sul suolo, l'impatto può garantire un treno di impulsi vibratorii con frequenze pari a 20-25Hz (19,69,131,148).

Le vibrazioni inoltre invadono in modo attivo il nostro vivere quotidiano, per esempio quando viaggiamo (automobile, scooter, treno, autobus, aereo, nave...) nell'uso di elettrodomestici, oppure nell'ambito lavorativo quando si impiegano macchinari e veicoli pesanti. Insomma rappresenta un elemento della vita divenuto più naturale e frequente di quanto tal volta si pensi.

In ambito fitness e wellness, l'esercizio vibratorio ha raggiunto livelli molto popolari e viene proposto dagli operatori per migliorare lo stato di salute, le condizioni di vita o come semplice terapia fisica riabilitativa. Tuttavia, le nozioni che dimostrano la benefica efficacia delle vibrazioni sono relativamente recenti (6,38,68,148) e rimane la convinzione che alcuni soggetti, costretti per tipologia di lavoro a dover gestire un'eccessiva esposizione alle vibrazioni, mostrano un'accentuata insorgenza di patologie a carico dell'apparato nervoso e locomotore (2,13,38,133). È altresì dimostrato, però, che nelle neuroscienze questo stesso mezzo è utilizzato come metodologia standard per attività di ricerca ed approfondimento (77,96,119,145,175).

CAPITOLO UNO: LE VIBRAZIONI.

PRINCIPI FISICI

L'energia vibratoria, è un fenomeno fisico e naturale che determina la relazione movimento\spostamento nell'ambiente circostante. Il termine "energia vibratoria" non è riferito alla vibrazione intesa come energia, ma più semplicemente viene utilizzato in quanto permette una facile comprensione del fenomeno (68,148). In realtà il termine "energia vibratoria" non esiste, poiché la vibrazione non è altro che una modalità di propagazione dell'energia stessa, sia essa elettromagnetica, termica o meccanica.

Una vibrazione è semplicemente un'oscillazione di ampiezza, spesso periodica, dell'energia (148). Da un punto di vista meccanico, si può affermare che un corpo vibra quando il medesimo descrive un movimento di tipo oscillatorio, casuale o periodico, attorno ad un punto d'equilibrio da una determinata posizione di partenza. Considerando un oggetto, vincolato in un punto, e fatto oscillare, produrrà movimenti regolari e periodici in riferimento alla posizione di equilibrio (145,148). Il tempo che intercorre tra due passaggi del corpo nella stessa posizione è detto periodo (o ciclo). Il numero di periodi al secondo costituisce la frequenza di una vibrazione, la cui unità di misura è l'Hertz (Hz). Convenzionalmente i range 0-2Hz definiscono le basse frequenze (es. mezzi di trasporto comuni), 2-20Hz sono le medie frequenze (es. macchinari industriali) e superiori ai 20-30Hz rappresentano il range delle alte frequenze (es. strumenti domestici). Le vibrazioni, tuttavia, si caratterizzano anche di altri tre parametri

quali l'ampiezza dello spostamento (cm), la velocità (cm/sec) e l'accelerazione (m/sec^2 o in multipli di g, $1g: 9,8\text{m/sec}^2$) (148). Date queste premesse, risulta evidentemente che una vibrazione meccanica può essere straordinariamente variata nelle sue grandezze di intensità.

Nell'ambito della medicina, della fisioterapia e della kinesiologia si parla di esercizio vibratorio come di una oscillazione forzata dove l'energia viene trasferita da un attuatore, la piattaforma vibrante, ad un ricevente, il corpo umano o una parte di essa (145,148). I dispositivi utilizzati per somministrare questa tipologia di stimolazione presentano delle vibrazioni dalla forma sinusoidale e perciò descrivibili con ampiezza (A), frequenza (f) ed accelerazione (a_{peak}). Durante un esercizio con vibrazioni il corpo umano è accelerato dalla pedana e questo provoca delle forze reattive esterne ed interne allo stesso corpo umano che possono essere dannose per la salute dell'uomo (106,145). È necessario dunque capire il funzionamento delle pedane in commercio e dei protocolli di utilizzo al fine di prevenire quanto di nocivo possono provocare.

Le pedane: differenti tipi di dispositivi.

Le apparecchiature per l'esercizio attualmente disponibili in commercio trasmettono vibrazioni al corpo intero per mezzo di pedane oscillanti che utilizzano 2 sistemi differenti di trasmissione:

- Alternata: spostamenti verticali alternati in parte destra e sinistra rispetto al fulcro;
- Sincrona: l'intera pedana oscilla sul piano verticale.

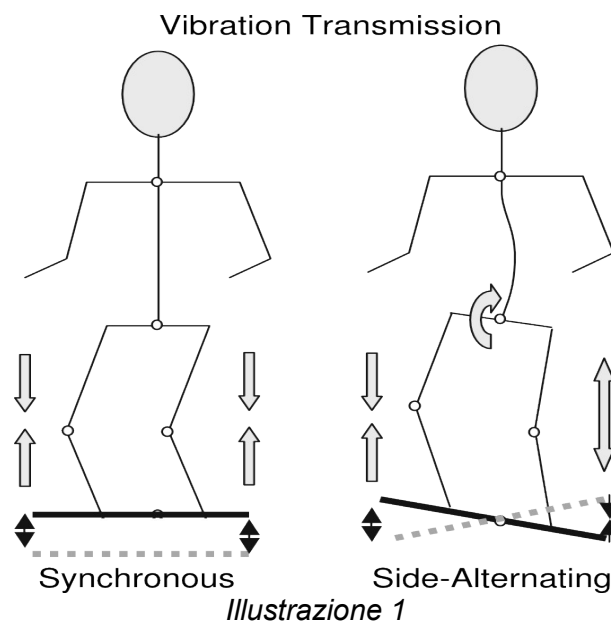


Illustrazione 1: Stimolazione con whole-body vibrations: sincrona ed alternata.

Nel primo caso la piattaforma vibrante oscilla intorno a un perno posto al centro della piattaforma (Illustrazione 1). Questo espone il soggetto a uno schema di vibrazioni laterali alternate (ad esempio il piede destro si muove verso l'alto

mentre quello sinistro si muove verso il basso e viceversa). Nel secondo caso, invece, la piattaforma si muove parallelamente al terreno trasferendo le vibrazioni contemporaneamente ad entrambi gli arti. Ciò significa che entrambi i piedi del soggetto si muovono su e giù allo stesso tempo.

Infine, l'evoluzione tecnica ha permesso lo sviluppo di dispositivi vibranti per esercitare la parte superiore del corpo che possono essere sospese ed abbinate all'utilizzo di piccoli sovraccarichi (29). Il corretto funzionamento di questi dispositivi è strettamente correlato alle regolazioni specifiche impostate. Tuttavia, quando si controllano i parametri stimolanti le risposte fisiologiche di questi dispositivi, dovrebbero assomigliare alla risposta dei dispositivi a piattaforma.

Ci sono, dunque, grandi differenze tra i tipi di vibrazione che questi dispositivi possono generare. È stato dimostrato che le vibrazioni alternate possono provocare movimenti rotatori attorno alle articolazioni delle anche e della regione lombosacrale (150). Questi movimenti introducono dei gradi di movimento aggiuntivi rendendo l'impedenza meccanica delle vibrazioni whole-body minore nelle stimolazioni alternate rispetto a quelle sincrone (1). A questo si aggiunge l'estrema variabilità dei parametri di questi dispositivi: la frequenza normalmente può passare da pochi ad elevati Hertz (50 Hz); l'ampiezza può essere di pochi micrometri oppure di parecchi millimetri (148). Ne consegue che la forza prodotta dalla piastra vibrante aumenta con l'incremento di frequenza ed ampiezza della vibrazione determinando così l'intensità del trattamento. Considerando le numerose combinazioni di ampiezze

e frequenze possibili attraverso le attuali tecnologie, è chiaro che esiste un'ampia varietà di protocolli *Whole Body Vibrations* (WBV) che possono essere utilizzati sugli esseri umani. Nonostante ciò non tutti i sistemi funzionano sempre correttamente e pertanto, ai fini della ricerca, sarebbe sempre necessario verificarne l'effettiva corretta propagazione dello stimolo attraverso accurate verifiche.

I soggetti: l'importanza della postura.

Cosa succede quando un corpo viene sottoposto a vibrazioni su questo tipo di pedane?

Come prima approssimazione, si consideri un corpo rigido. Quando questo corpo è ben saldo al dispositivo vibrante, sarà sufficiente seguire la traiettoria sinusoidale imposta dall'attuatore (148). Tuttavia sulle piattaforme per vibrazioni whole-body non vi è un saldo fissaggio e l'unica forza verso il basso che agisce sul corpo è la gravità (199).

Di conseguenza, il corpo rigido perde il contatto e si realizza una piccola fase di volo. In pratica, questo è il motivo per cui i piedi dei soggetti, a volte, scivolano sulla pedana vibrante. Inoltre, come conseguenza di questa fase di volo, si verifica una successiva impatto con la piattaforma ogni qual volta il corpo torni ad appoggiarsi con la pedana. Ne consegue che per accertare i parametri vibratori corretti si dovrà realizzare un effettivo contatto sulla piastra oscillante.

Ma il corpo umano non si comporta come una struttura rigida: muscoli e tendini immagazzinano e rilasciano energia meccanica. In tale sistema, la compressione avviene durante la fase di salita della vibrazione mentre l'espansione durante la discesa. Lo spostamento del centro di massa risulta dunque inferiore nel del corpo rispetto al livello della piattaforma e questo causa differenti frequenze vibratorie all'interno del corpo umano. Sulla pedana vibrante, dunque, il corpo è soggetto a forze che determinano al suo interno

l'oscillazione delle strutture e dei tessuti. Una volta sollecitati i tessuti molli continuano ad oscillare come in una vibrazione libera, mantenendo la naturale frequenza ed affievolendo l'ampiezza di queste vibrazioni a causa della smorzatura tipica dei tessuti (131,188). Le strutture corporee infatti sono assimilabili a degli attenuatori che smorzano le forze agenti sulle stesse. Evidenze scientifiche suggeriscono che i muscoli hanno tali caratteristiche di smorzamento meccanico (188) e nell'attuazione di questo assorbimento di energia disperdono calore. Una continua spinta di forza oscillatoria porta le vibrazioni dei tessuti molli alla stessa frequenza della forza di spinta, ma l'ampiezza delle vibrazioni sarà più grande se la frequenza naturale dei tessuti è vicina a quella della forza di spinta (risonanza); comunque l'ampiezza di queste vibrazioni ad ampiezza superiore può essere smorzata dall'assorbimento dei tessuti (148,188).

Con la frequenza di risonanza si assiste ad un massimo spostamento tra l'organo e la struttura scheletrica che infligge la tensione biodinamica al tessuto corporeo coinvolto. Misurazioni della trasmissibilità della vibrazione dal punto di eccitazione alla testa (o ad altri organi) rivelano le frequenze di massima trasmissibilità che possono essere attribuite alla risonanza dell'organo. Comunque, tali risonanze sono influenzate dalla risposta di altri organi e dalla risonanza di tutto il corpo. È quasi impossibile stimolare la frequenza naturale di un solo organo senza eccitare le risonanze di tutto il corpo (131,148).

La frequenza di risonanza del corpo intero di persone sedute di solito è di 5Hz (136) ma questo dipende da vari fattori. Usando la trasmissione dai piedi fino

alla testa sono state rilevate risonanze di vibrazioni verticali a 2.5 Hz e un secondo picco inferiore a 13 Hz per le tre posizioni delle gambe con le ginocchia bloccate, gambe non chiuse e gambe piegate (103). Griffin riferisce di uno studio che indicava una frequenza risonante di 5 Hz per le persone in piedi con gambe ritte (bloccate a livello delle ginocchia) e di 3 Hz con le ginocchia piegate (137).

Il corpo per regolare la trasmissione dei colpi provocati da impatti e vibrazioni che lo attraversano fa uso di una serie di strutture e meccanismi quali ossa, cartilagini, ifluidi sinoviali, tessuti molli, strutture articolari e l'attività muscolare.

È stato stabilito che il corpo ha una strategia di "sintonizzazione" della propria attività muscolare per ridurre le vibrazioni del tessuto molle in un tentativo di ridurre gli effetti deleteri (188). Questa idea preannuncerebbe che il livello dell'attività muscolare utilizzato per l'esecuzione di un particolare movimento dipende dall'interazione tra corpo e forze applicate all'esterno. In una tipica sessione di stimolo vibratorio, l'utilizzatore sta sul dispositivo in posizione immobile o segue movimenti dinamici o statici.

Le vibrazioni dalla pedana, sono trasmesse ad uno specifico gruppo di muscoli; le differenti posizioni del soggetto della piattaforma corrispondono alla differente stimolazione meccanica del muscolo. L'interazione del corpo come un tutt'uno con le vibrazioni applicate è complessa e dipende da molteplici variabili. La reale catena cinematica attraverso la quale la vibrazione meccanica si propaga nel corpo dipende molto dall'anatomia del soggetto, dalla posizione, dal tono muscolare e dalle proprietà individuali degli altri tessuti meccanici (148).

I tessuti molli agiscono come masse vibranti che smorzano l'eccitazione meccanica; il sistema neuromuscolare lavora per attutire la risonanza del tessuto molle che si ha in risposta alle vibrazioni. Fino a quando si è sottoposti a vibrazione, le risposte meccaniche e metaboliche sono generate dal sistema neuromuscolare (74,148).

I protocolli: le diverse modalità di lavoro.

In una tipica sessione di WBV, l'utilizzatore è in appoggio podalico sulla pedana e può eseguire esercizi statici o dinamici. Gli studi sul trattamento con vibrazioni hanno usato un'ampia gamma di protocolli (148). Nella maggior parte dei casi, le sessioni di vibrazioni consistono in esposizione a diversi cicli di vibrazioni (ognuno della durata di almeno un minuto fino a diversi minuti) che sono intervallati da momenti di pausa. L'intera sessione quindi dura da 5 a 20 minuti. Il numero delle sessioni di vibrazioni è probabilmente dettato dalla programmazione dello studio, piuttosto che dalla valutazione dell'efficacia del trattamento. In diversi studi (68,104,107,118,145,148), l'intera durata del trattamento con vibrazione è andata da poche settimane a un anno. Diverse possono anche essere le tipologie di lavoro a cui il soggetto può essere sottoposto durante un programma di allenamento vibratorio:

- lavoro isometrico statico con o senza carico (68);
- lavoro dinamico: esecuzione di esercizi svolti sulla pedana in vibrazione (142);
- lavoro statico-dinamico caratterizzato dall'alternanza delle tecniche precedenti (142).

LE RISPOSTE FISIOLOGICHE

I muscoli scheletrici e le ossa rappresentano unità fondamentali per poter svolgere e compensare richieste operative organiche e funzionali che costituiscono il movimento. Nella fattispecie, per sostenere improvvise richieste e/o nel caso in cui vi siano stimoli ripetuti, le strutture reagiscono con adattamenti specifici: modificazioni della struttura nervosa, cellulare e metabolica.

Lo scopo del movimento è dunque creare un “sovraccarico” continuo nel tempo, tale da stimolare in maniera costante adattamenti anatomici, enzimatici o semplicemente funzionali che rappresentano le fondamenta del processo di allenamento.

Nei periodi di inattività volontaria o forzata come nei giorni successivi ad un trauma, dopo intervento chirurgico, ecc. i carichi giornalieri si riducono drasticamente. Ne consegue un progressivo indebolimento della struttura osteo-muscolare, che in definitiva comporta atrofia. Per diverse ragioni, in età adulta e anziana, la maggior parte delle persone limita fortemente l'attività fisica utilizzando come unico stimolo meccanico i movimenti del vivere quotidiano e il cammino. Tuttavia anche se la deambulazione sussiste come stimolo, in quanto movimento contro gravità, risulta minimo e nei casi patologici (osteoporosi, osteopenia, miositi) ne appare chiara l'insufficienza.

Per compensare la mancanza di movimento e ridurre i fattori di rischio, sono

stati pianificati diversi progetti per stimolare ed indurre la popolazione ad aumentare l'attività fisica. In tale ottica trova spazio il metodo di allenamento che utilizza come fattore di stimolo gli effetti indotti dalla vibrazione meccanica. È stato dimostrato che il trattamento con vibrazione meccanica rappresenta un forte stimolo per l'intero organismo e specialmente per il sistema endocrino, neuro-muscolare e scheletrico (13). Considerazioni suffragate dal fatto che il nostro organismo possiede speciali recettori sensoriali specifici delle vibrazioni; frequenze fino agli 80Hz sono percepite dai corpuscoli di Meissner, mentre frequenze fino ai 500Hz sono rilevate dai corpuscoli di Pacini.

Ne consegue, inoltre, che la somministrazione di vibrazioni agisce in modo stressante direttamente e in via riflessa anche sul sistema endocrino e cardio-circolatorio (12,26,42).

Ecco perché risulta fortemente importante evidenziare la metodica di utilizzo del *training vibratorio* soprattutto come mezzo compensativo riguardo a soggetti per i quali l'attività fisica non può essere continua o addirittura praticata e proporzionalmente utilizzata come valido supporto per scopi prestativi in atleti evoluti.

Nel muscolo.

Una vibrazione somministrata ad un muscolo, costituisce una forma di stimolo, che provoca e facilita contrazioni muscolari indotte. Durante uno stimolo vibratorio il ventre muscolare subisce piccole variazioni in termini di lunghezza delle fibre contrattili; assimilabili ad un ritmico susseguirsi di contrazioni concentriche ed eccentriche di piccola ampiezza (92); queste variazioni anche se di ridotta entità agevolano il riflesso spinale (miotatico), ivi agendo sui motoneuroni alfa (α) (Illustrazione 2).

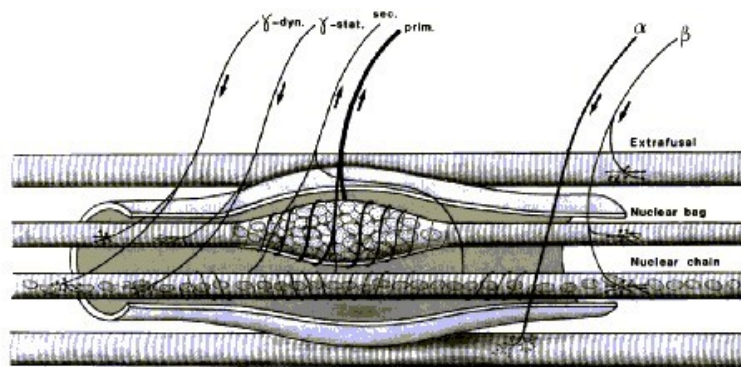


Fig. 6.2 Schematic diagram of muscle spindle showing its sensory and motor innervation.

Illustrazione 2

Illustrazione 2: Diagramma dell'innervazione sensitiva e motoria del muscolo.

Il fenomeno consta nello stimolare la reazione dei fusi neuromuscolari, producendo stiramenti di bassa ampiezza, ripetitivi, che generano scariche di impulsi lungo le fibre Ia (vie afferenti del riflesso spinale monosinaptico) facendo comparire nel muscolo un'attività elettromiografica continua, di ridotta ampiezza, chiamata "riflesso tonico da vibrazione" (TRV). Il TRV opera

esclusivamente sui motoneuroni alfa e non percorre gli stessi “tratti corticali” efferenti percorsi nella contrazione volontaria (16,24). La contrazione muscolare generata attraverso il TVR viene rilevata generalmente attraverso il tracciato elettromiografico. Stimoli vibratori a basse frequenze (sino a 80 Hz) sono rilevate dai corpuscoli di Meissner; quelli a frequenze più elevate (fino a 500 Hz) dai corpuscoli del Pacini. Le rapide variazioni di lunghezza del complesso muscolo tendineo causate dalle vibrazioni vengono percepite inoltre dai propriocettori dei fusi neuromuscolari, determinando un attivazione riflessa del muscolo analogamente a quello che si verifica durante l'esecuzione di un balzo a ginocchia bloccate (16). Questi modesti ma significativi cambiamenti di lunghezza fanno sì che l'allenamento vibratorio sia sostanzialmente assimilabile ad un cadenzato susseguirsi di contrazioni eccentriche e concentriche di piccola ampiezza (153), anche se l'allenamento con le vibrazioni, basandosi principalmente su posizioni statiche, ci potrebbero indurre a pensare, erroneamente, di trovarci in presenza di contrazioni puramente isometriche (158). Le vibrazioni, inoltre, producono dei microspostamenti che sono recepiti da tutte le strutture propriocettive (organi tendinei del Golgi, fusi neuromuscolari, corpuscoli di Meissner per stimoli vibratori fino ad 80 Hz di frequenza e corpuscoli del Pacini per frequenze fino a 500 Hz) che inducono il muscolo ad una risposta adattiva attraverso delle contrazioni muscolari riflesse (riflesso miotatico), stimolando così oltre che le capacità propriocettive anche la funzionalità del sistema neuromuscolare di produrre forza durante la fase di contrazione che segue lo stiramento.

Praticamente non è altro che un'azione compensatoria riflessa da parte del muscolo, il quale per adattarsi alla nuova condizione, incrementa il tono aumentando il livello di pre-attivazione, non solo all'interno del muscolo "vibrato", ma anche in quelli ad esso vicini (148). L'aumento della capacità contrattile del gruppo muscolare sottoposto a vibrazioni, si traduce in un evidente spostamento verso destra sia della relazione forza-velocità (Illustrazione 3), che di quella forza e potenza (Illustrazione 4).

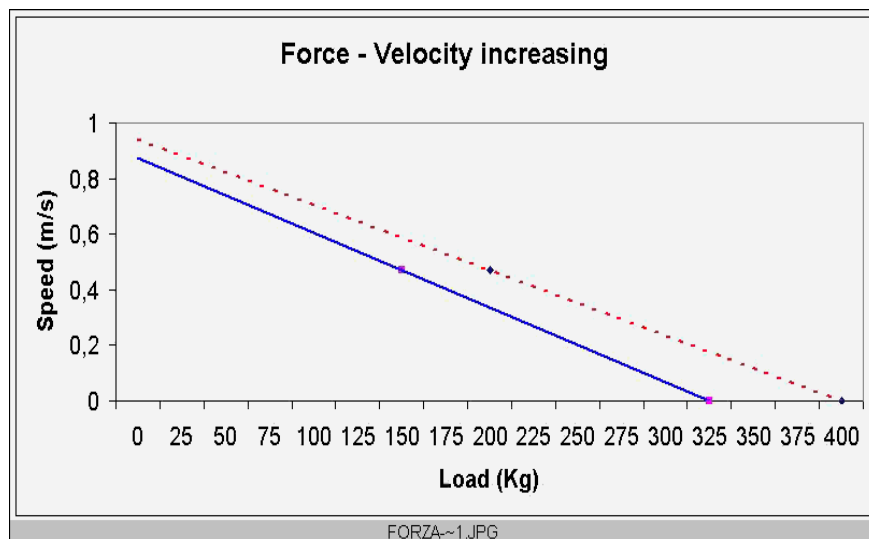


Illustrazione 3

Illustrazione 3: Relazione forza/velocità: in blu, i valori pre, in rosso quelli post trattamento vibratorio.

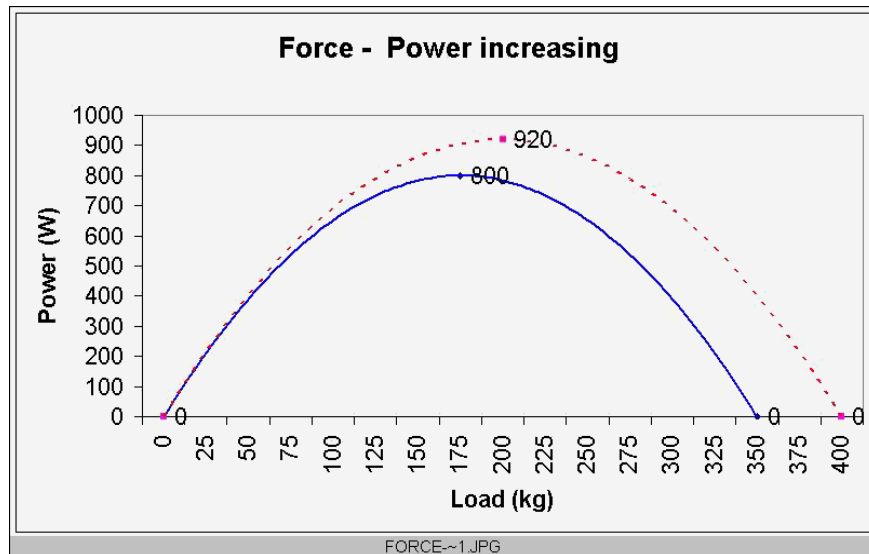


Illustrazione 4

Illustrazione 4: Relazione forza/potenza: in blu, i valori pre, in rosso quelli post trattamento vibratorio.

Nel corso degli anni molti studi hanno dimostrato che lo stimolo indotto dalla vibrazione produce un miglioramento della forza massima, della forza esplosiva, della resistenza della forza veloce e della flessibilità muscolare, oltre a stimolare il profilo ormonale (18,28,51,149,156). Tuttavia, a tutt'oggi, non è ancora stata individualizzata la frequenza o il range di frequenze utili per potenziarne l'effetto descritto.

Nel tessuto osseo.

Il tessuto osseo fa parte di quel compartimento di studio molto seguito e trattato nella medicina geriatrica, in virtù del fatto che appare fisiologicamente indebolito in fase senile e le problematiche maggiori risultano precarietà funzionali. Con l'avanzare dell'età il riassorbimento supera la sintesi e determina una perdita netta di tessuto osseo.

L'indebolimento strutturale aumenta progressivamente sino a renderlo molto fragile; a questo si aggiunge la riduzione del tono muscolare basale e funzionale, dovuto anch'esso al naturale catabolismo del sistema organico senile (147).

Senza dubbio, il tessuto osseo è soggetto a un costante processo di rimodellamento (osteogenesi) e di perdita (osteolisi) durante tutta la vita, in risposta: alla disponibilità in ioni calcio e fosfato, alle variazioni ormonali e in maggior parte alle sollecitazioni cui è sottoposto. Quando il processo di osteogenesi viene meno, e prevale quello di osteolisi, si instaura un progressivo indebolimento fisiologico, che per molti soggetti può trasformarsi in patologico (74,147).

Perciò è doveroso per chi si occupa di tali problematiche cercare una soluzione nel ridurre in maniera costante e crescente la fase degenerativa, in relazione anche alla prevenzione e trattamento di quelle patologie che ne accentuano le debolezze; condizionando in ogni gesto il soggetto che ne è affetto. La

patologia sicuramente più frequente è l'osteoporosi: malattia scheletrica contraddistinta da una riduzione della massa ossea e da alterazioni della microarchitettura che comporta al soggetto un rischio maggiore di fratture. Si evidenziano porosità e assottigliamenti manifesti del telaio trabecolare (38,74,166).

Nella possibile individuazione della malattia, vanno considerati i fattori predisponenti.

Le donne hanno un alto livello di probabilità ad essere soggette ad osteoporosi rispetto agli uomini, dovuta ad un accelerata perdita minerale in stato di menopausa e quindi in carenza di estrogeni. Durante i primi 5-7 anni di menopausa, le donne perdono dal 5-7% della loro "forza ossea"(171). Secondo la WHO (World Health Organization) una donna su due, oltre i 60 anni, è esposta a fratture per osteoporosi, analogamente un uomo su tre è esposto agli stessi rischi (27,29,73,74).

Risulta chiaro ormai che lo stile di vita sedentario aggrava e peggiora la situazione osteoporotica soggettiva; paradossalmente l'osteoporosi in individui obesi è inferiore, non solo per il carico maggiore sopportato dalle strutture ossee, ma anche perché il tessuto adiposo è un sito importante di formazione degli estrogeni che stimolano l'attività degli osteoblasti. Dunque, considerando la perdita ossea, con l'avanzare dell'età, anche parte del normale vissuto, è estremamente importante sviluppare e programmare un'adeguata attività fisico-motoria per prevenirne un brusco aumento. Sono da valutare esercizi e impostazioni fisiche altamente ergonomiche, affinché non vengano

sovraccaricati compartimenti differenti da quelli che richiedono intervento.

A questo punto diviene evidente che l'introduzione dell'esercizio vibratorio (Ve) possa inserirsi prepotentemente in quel campo dell'attività fisica, in cui si trovano soggetti poco propensi e poco adatti a svolgere attività intense e prolungate.

Con una stimolazione di entità veramente importante, Ve sollecita vigorosamente l'apparato scheletrico e muscolare, senza richiedere un alto grado di impegno, annunciandosi come strategia alternativa di basso impatto e di grande resa. Come mezzo compensativo a stimolazione gravitazionale è in grado di favorire un aumento della BMD (Body Mass Density), grazie ad un intervento mirato nel potenziamento muscolare. Con l'aumento del tono basale e funzionale, per effetto piezoelettrico viene incrementata l'attività osteo-metabolica (27,38,66,73). L'effetto piezoelettrico sfrutta l'azione dei cristalli di calcio che sottoposti a sollecitazione generano variazioni nelle cariche elettriche presenti nel tessuto osseo; nel rimodellamento infatti, gli osteoblasti orientano la propria funzione osteogenica in presenza di un potenziale elettrico negativo, che identifica una zona sotto stress. L'importanza di un carico stressante quindi è tale per cui la sua reiterata somministrazione deve essere continua e proporzionale. In questo caso l'impiego della vibrazione è fondamentalmente ottimale, perché oltre a fornire una vera e propria spinta metabolica, di replezione minerale, riduce al minimo il rischio di traumatizzare i sistemi attivi e passivi che compongono la muscolatura scheletrica e articolare di un organismo già anziano (12,38,106).

GLI STUDI SPERIMENTALI

Cenni storiografici del training vibratorio.

Una considerazione completa sulle vibrazioni, come oggetto di studio fu inizialmente data già a metà del secolo scorso, quando vennero riscontrati effetti positivi nell'utilizzo di un letto "oscillante" per curare i disturbi metabolici di soggetti ingessati e allettati (163,183). Ancora prima già si asseriva che la causa del tipico "mal di schiena del cocchiere" (XVII secolo) era causato dalle vibrazioni continue della carrozza rigida trainata dal cavallo.

Vennero sviluppati studi successivi riguardo la somministrazione diretta di vibrazioni, più precisamente grazie ad un lavoro sperimentale che scoprì come la somministrazione con frequenza pari a 50 Hz, fossero in grado di aumentare l'area della sezione trasversale del muscolo (quindi di incrementare la massa magra), nonché di diminuire il tessuto adiposo all'interno del muscolo stesso (81). Più tardi si intrapresero nuove vie sperimentali riguardanti soprattutto la pratica riabilitativa e preventiva, grazie a lavori sperimentali sull'accrescimento e stimolazione ossea, all'individuazione di frequenze ottimali per stimolare meccanicamente tessuti ossei in fase degenerativa e in funzione di particolari strumenti basati sull'utilizzo delle oscillazioni di tipo rotatorio (166) e traslatorio (tecnica poi abbandonata per i suoi scarsi risultati) (69) applicate al tessuto

interessato. Solo un anno più tardi nuovi lavori sperimentali dimostrarono come nell'animale sottoposto a vibrazioni si registrasse un incremento nella proliferazione ossea (66). Solamente alla fine degli anni 80 comparvero i primi studi riguardanti il possibile incremento delle capacità contrattili dei muscoli sottoposti a sollecitazioni di tipo vibratorio. Ulteriori studi, vennero iniziati per la determinazione di eventuali effetti incrementali sulla contrazione muscolare in soggetti sani ed attivi. Basti pensare agli studi riguardanti l'aumento della capacità contrattile (92), oppure studi condotti su atleti a cui veniva fornito allenamento vibratorio, al fine di valutare incrementi della forza massima rispetto ad esercitazioni in condizioni normali (130). I russi Nazarov e Spirav, infatti, lavoravano per il governo Russo e i loro studi sulla pedana vibrante vennero utilizzati per aiutare gli astronauti a fare ginnastica nello spazio. Nei primi anni 90 gli astronauti americani non riuscivano a stare nello spazio oltre i 120 giorni e riscontravano sempre gravi problemi muscolari ed ossei. Gli astronauti russi, di contro, riuscirono a superare ogni record di permanenza facendo stazionare sulla stazione orbitante MIR due astronauti per ben 450 giorni. Sino al 1987 tutti gli studi applicati alla pedana vibrante erano mirati all'apparato scheletrico, quindi: cura dell'osteoporosi, recupero dei traumi, decalcificazione ossea, degenerazione ossea e contrasto alla diminuzione della calcificazione negli astronauti. Successivamente, grazie a Carmelo Bosco che per primo fece studi in ambito sportivo ed estetico, la pedana vibrante e i benefici delle vibrazioni controllate vennero analizzati anche dal punto di vista muscolare (9, 10, 11; 45; 69; 72).

ONE LEG WHOLE-BODY VIBRATION EFFECTS ON MUSCULAR STRENGTH AND BALANCE ABILITY:
TRAINED VS UNTRAINED LEG

Di qui in poi le ricerche si sono sempre più intensificate, passando dagli studi sugli effetti allenanti (9,38,68,104,106,142,156), a quelli di recentissima trattazione riferiti al miglioramento della flessibilità muscolare (180).

Gli ambiti di ricerca della vibrazione.

Nell'ambito della sperimentazione biologica e fisiologica si distinguono studi basati essenzialmente sull'analisi degli effetti di due tipi di vibrazione meccanica:

1. Whole Body Vibration (WBV), somministrata con modalità tali da invadere tutto il corpo.
2. Vibrazione topica o localizzata o Hand Arm Vibration (HAV), somministrata ad un distretto corporeo limitato

Le vibrazioni di tutto il corpo (WBV) costituiscono uno stimolo meccanico che penetra in tutto il corpo attraverso i piedi quando si poggia su di una piattaforma oscillante. Queste piattaforme, come accennato in precedenza, sono oggi giorno disponibili in commercio (ad es. Nemes Perform, Globus) e normalmente utilizzano vibrazioni ad alta frequenza e bassa ampiezza rappresentando così un forte stimolo per i muscoli scheletrici dell'intero corpo, ma soprattutto degli arti inferiori perché le gambe sono più vicine alla fonte di vibrazione. Al contrario nel caso delle somministrazioni topiche o localizzate le vibrazioni intervengono direttamente sul distretto interessato escludendo in questo modo possibili interessamenti alle altre parti del corpo.

Studi generalizzati (WBV, basse\medie frequenze).

Per la maggior parte dei casi studio, la somministrazione di vibrazione è considerata potenzialmente dannosa (148). Tale considerazione, anche se rimarcata dalla comunità scientifica, non è ancora seguita da precise restrizioni sia sul tempo che sulle modalità d'esposizione. È certo però che un'esposizione del tutto incontrollata porta sicuramente all'instaurarsi di insulti e dannosità a carico delle strutture organiche. Molti studi (7,48,93,103,131) hanno evidenziato due possibili meccanismi con i quali le vibrazioni possono indurre lesioni, il primo riguarda il fenomeno della risonanza: l'onda meccanica si deforma durante la propagazione a distanza attraverso i tessuti, approssimandosi alla frequenza di risonanza delle articolazioni, di conseguenza avviene una forte amplificazione del segnale medesimo. Il secondo invece riguarda l'eccessiva risposta contrattile dei muscoli paravertebrali dovuta ad un intenso impulso vibratorio, in ragion del quale si verifica una contrattura e affaticamento localizzato nella regione lombare.

Le linee guida nazionali (90) asseriscono che la frequente esposizione alle vibrazioni e urti ripetuti, di medio-alta intensità, in termini di mesi, favorisce il sorgere del generico "mal di schiena", dovuto a possibili lesioni alle vertebre e ai dischi intervertebrali.

Sin da ora però si è trattato di argomentazioni che confermano l'effetto lesivo di una somministrazione WBV riguardante prevalentemente le basse\medie frequenze. Nella storia recente della letteratura scientifica esistono però una

serie di studi asserenti effetti positivi all'esposizione WBV con frequenze relativamente alte (55,149,162).

Questi studi hanno la particolarità di investigarne gli effetti, somministrando trattamenti WBV controllati, dove i parametri come la frequenza, l'ampiezza, accelerazione, velocità e tempo di esposizione, vengono stabiliti, e mantenuti fissi. Con ciò si è dimostrato come il rischio di effetti negativi potesse ridursi in modo più che rilevante (106,113,148,172).

Studi localizzati (HAV, alte frequenze).

La somministrazione vibratoria di tipo locale è considerata da molti non pericolosa, addirittura innocua (16). Certamente gli effetti che produce, o che può produrre sono di entità minore, in quanto il fenomeno è limitato ad un distretto corporeo (es. mano-braccio). L'intensità della vibrazione equivale ad un modesto treno d'impulsi tale da non invadere il corpo, e quindi compromettere tessuti affini.

Valutando nondimeno, come per altro già fatto per la WBV, il settore lavorativo, e l'ambito industriale, l'utilizzo e gli effetti, seppur locali, possono produrre conseguenze negative al distretto corporeo. Si pensi agli operatori che impugnano molti strumenti generanti vibrazioni. In alcuni di questi strumenti i livelli di vibrazione possono essere molto alti: seghe, martelli demolitori, molatrici, perforatrici, pulitori, piastre vibranti, ecc.

Sempre le linee guida nazionali descrivono e trattano dell'individuazione di una vera e propria serie di patologie riconosciute come "Sindrome da Vibrazioni

mano-braccio”, la maggior parte delle quali, se non addirittura la totalità, vengono attribuite a soggetti che sono a contatto quotidiano con strumentazione a vibrazione incontrollata (90). Le componenti patologiche che si individuano nella sindrome, sono di tipo vascolare, neurologico, osteoarticolare, che come già specificato sono conseguenze di una sovraesposizione cronica (Hz/h).

Invece per quanto riguarda una “normoesposizione” (Hz/min) ad una somministrazione localizzata, come visto nella WBV, i lavori sperimentali ne riscontrano effetti più che positivi. Tant'è che sono ben noti gli ambiti di utilizzo di queste stimolazioni benefiche da cui è possibile trarre notevoli vantaggi e benefici, quali nella riabilitazione respiratoria (28, 57), neurologica (96) e ortopedica (32, 60). Lo Sport però mai come in questi anni, grazie anche a sviluppi tecnologici, ha varcato il confine nell'uso di metodiche e ausili strumentali alternativi (quali la vibrazione), che si sono aggiunti ai consueti mezzi d'esercizio nelle molteplici unità allenanti.

Stato della letteratura scientifica internazionale.

Un'illustrazione consona sullo stato della letteratura scientifica, sarà sviluppata non prima di aver specificato i principali ambiti ove nella società odierna si sviluppa questa modalità alternativa di stimolo.

Come facilmente si può pensare, anche in deduzione a quanto già scritto, i maggiori ambiti sono quello sportivo e quello terapeutico; quest'ultimo, seppur molto generico (come del resto quello sportivo), si riferisce all'impiego settoriale dell'esercizio vibratorio con finalità di trattamento e prevenzione di particolari patologie degenerative della porzione ossea e muscolare.

Esisterebbe, infine, anche un terzo settore d'impiego: l'ambito estetico nato e moltiplicatosi in maniera esponenziale negli ultimi anni, grazie a studi specifici sull'intervento selettivo della vibrazione sulla microcircolazione. Esattamente, si sono valutati i possibili cambiamenti nel volume sanguigno muscolare, in soggetti posizionati su di una pedana ad azione vibrante (100,114,118). Kerschman-Schindl et al. (2001) (100). affermano che qualche minuto sulla piattaforma vibrante può portare ad un aumento del volume sanguigno in movimento sia nel quadricipite che nel gastrocnemio, ripristinando selettivamente la circolazione periferica.

Ambito sportivo.

Gli adattamenti che il muscolo scheletrico attua durante gli allenamenti per l'incremento di forza e potenza muscolare, sono di tipo neurogeno ancor prima che miogeno. Come denota la figura, ciò sta a significare che un eventuale adattamento cronico dovrà prevedere delle fasi di compensazione basate sull'incremento seriale di tali fattori biologici, sino a raggiungere una fase limite, riconosciuta come limite fisiologico.

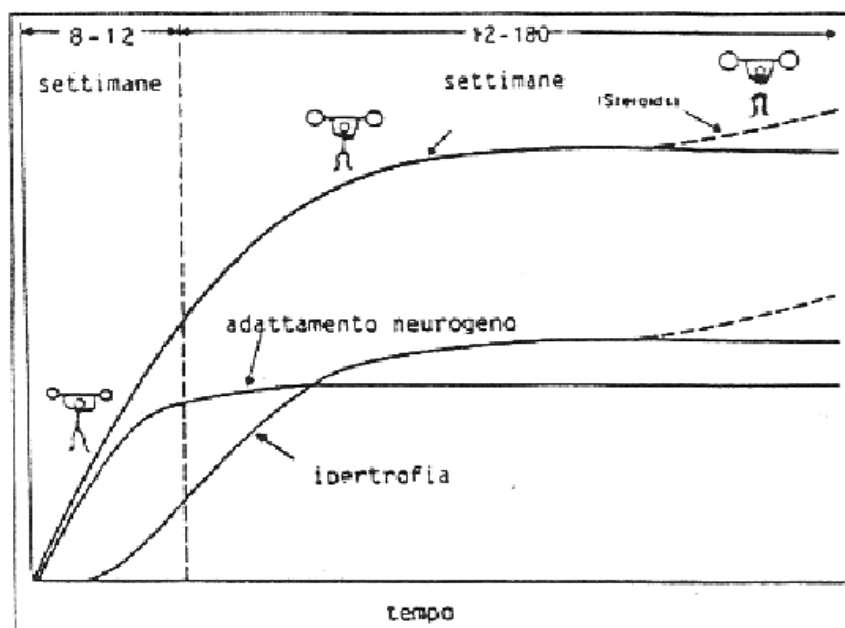


Illustrazione 5

Illustrazione 5: I fattori che contribuiscono all'incremento di forza.

Escludendo pratiche farmacologiche illegali, il superamento di codesta fase critica ha portato all'introduzione di molte novità tecnologiche sempre più

determinanti e sicuramente questo risulta un ulteriore motivo per cui l'esercizio vibratorio (Ve) si è progressivamente sviluppato. Le principali sperimentazioni riguardano i possibili effetti incrementali dell'esercizio vibratorio in atleti, indagandone le qualità fisiche condizionali come pure le reazioni di adattamento del muscolo scheletrico umano in fase acuta post esercizio vibratorio (Ve).

A tale proposito gli studi più importanti furono effettuati su alcune pallavoliste di alto livello, cui venivano paragonate le misurazioni dei parametri *forza*, *potenza* e *velocità* tra un esercizio piramidale (70, 90, 110, 130 Kg) alla leg press e lo stesso esercizio effettuato dopo il trattamento vibratorio con frequenza 26 Hz, ampiezza 3mm e accelerazione 27 m/s^2 (2,7g). È stata dimostrata la presenza di miglioramenti nelle relazioni forza /velocità / potenza attribuiti ad un marcato incremento degli aspetti neuromuscolari, protagonisti della prima forma acuta di adattamento in risposta ad esercitazioni intense.

Considerando la vibrazione appena descritta, anche se breve, essa si compone di variazioni in campo gravitazionale pari a 2,7g, che simulano straordinariamente l'intensità prodotta per esempio per compiere 150 piegamenti sugli arti inferiori (13).

Queste considerazioni vennero poi suffragate da accertamenti riguardo l'influenza della vibrazione sul comportamento meccanico del muscolo (16). Si vide come l'impulso vibratorio somministrato 2 minuti al giorno, protratto per dieci giorni, potesse migliorare le capacità neuro-muscolari durante l'esecuzione di una serie di salti continui (5sCJ) rispetto a prestazioni nel salto verticale con contro movimento CMJ (Counter-Movement-Jump); difatti si

riscontrò un miglioramento nel sollevamento del centro di gravità di circa il 12%, mentre la potenza meccanica fece registrare un aumento significativo del miglior salto, nei 5sCJ. Contemporaneamente non venne osservata alcuna variazione sui dati relativi al CMJ. Da qui si rimarcò il ruolo principale delle vibrazioni nel miglioramento della funzionalità del sistema neuromuscolare. Esattamente nell'esecuzione continua del test 5sCJ, rispetto al CMJ, i muscoli estensori della gamba sono soggetti ad un allungamento rapido e più repentino, e si ha una netta predominanza dello "stiffness" muscolare, correlato con i riflessi tendinei. Il CMJ invece è fortemente influenzato sia dalla capacità di reclutamento dei motoneuroni, sia dalla percentuale di fibre nei muscoli stessi, perciò contraddistingue una predominanza per fattori "miogeni". Sicché in base ai dati registrati, si è ottenuto che la vibrazione fosse in grado di influenzare maggiormente i meccanismi di feedback propriocettivi caratteristici dei riflessi di allungamento e tensione (Golgi-Tendon-Organs), ivi producendo un aumento delle rispettive soglie di attivazione, e la possibilità degli stessi GTO di reclutare una porzione maggiore di unità motorie, in fase eccentrica del gesto (17).

Successivamente si sono intrapresi ulteriori approfondimenti sugli effetti positivi della vibro-stimolazione sui fattori neurali, associando alla misura della potenza, la misura elettrica (EMG) della muscolatura coinvolta. Tuttavia registrare un'attività elettromiografica durante un allenamento vibratorio è molto difficile a causa di una molteplicità di fattori che possono generare, in seguito agli stessi movimenti vibratorii, artefatti nel tracciato elettromiografico stesso.

Un primo studio esaminò la prestazione di 12 pugili professionisti sottoposti ad

un trattamento vibratorio tramite un segnale di 30 Hz di frequenza, 6 mm di ampiezza e accelerazione di 34 m/s^2 , somministrate in cinque sessioni da 1 minuto. Dovevano eseguire un esercizio di curl per bicipiti con un peso addizionale corrispondente al 5% del peso corporeo soggettivo. Prestazione valutata prima e dopo la sottomissione alla stimolazione meccanica. I risultati mostrarono un notevole aumento della potenza media, sull'arto trattato con la vibrazione, un'attività elettrica del muscolo maggiore; in più comparando il segnale elettrico con quello di potenza si verificò un decremento del rapporto EMG/P, indice di un miglioramento nell'efficienza neuromuscolare (16).

Analogamente alcuni studi scientifici riportarono attività elettromiografiche anche utilizzando frequenze molto basse (massimo 5 Hz); è l'esempio di un esperimento effettuato ad un soggetto seduto sulla pedana vibrante a cui venivano progressivamente aumentata la frequenza partendo da 0.3 fino ad arrivare a 5 Hz. È stato evidenziato che queste vibrazioni, seppur basse, provocavano un'attività elettromiografica a livello dei muscoli erettori spinali (169). Altri studi si sono specializzati nel cercare una frequenza standard ideale allenante per il muscolo vasto laterale del muscolo quadricipite femorale; si è visto che la frequenza ottimale era di 30 Hz e che questo tipo di frequenza dava un segnale all'EMG di gran lunga superiore a quello dato da frequenza di 40/50 Hz (28). A questo si è aggiungono le scoperte di un lavoro secondo il quale è stato dimostrato come il segnale EMG è più accentuato per somministrazioni di vibrazioni alternate che sincrone (2).

Al contrario degli studi precedenti, però, Moran (2007), applicando vibrazioni al

tendine del bicipite durante un esercizio di curl con manubri al 70% RM, non ha rilevato modificazioni nel tracciato EMG (122). Una possibile spiegazione potrebbe risiedere in quanto anticipato da Hagbarth et al. (39, 40), i quali hanno dimostrato come la vibrazione solitamente incrementa l'attività dei neuroni motori in contrazioni sub-massimali e non in quelle massimali. Lo stesso autore sostiene che questa differenza tra le due tipologie di contrazioni siano determinate dall'intervento dei meccanismi di inibizione che giocano un ruolo fondamentale a livello conservativo e a livello informativo sul grado di allungamento delle strutture muscolo-tendinee (76). Tutte queste scoperte nel campo della valutazione con EMG sono state riassunte in una review del 2007 la quale riporta anche come un esercizio sviluppato in posizione monopodica permetta un maggior intervento da parte dei muscoli sottoposti a vibrazione rispetto alla classica posizione bi-podica (146).

Quest'ultima caratteristica identifica un ruolo determinante della vibrazione, nella prestazione sportiva. Una maggior attivazione neuro-fisiologica comporta una rilevante capacità da parte del ventre muscolare di rispondere a stimoli immediati con modalità efficientissima; si garantisce così una diminuzione nei tempi di reazione ad uno stimolo, e una diminuzione del tempo di esecuzione di uno specificato gesto o determinata attività di potenza.

I presenti, sono studi condotti che riguardano in gran numero la potenza come parametro principe nel descrivere gli effetti allenanti di Ve. Naturalmente esistono ulteriori elaborati scientifici che dimostrano come la forza e le sue manifestazioni, siano davvero influenzate anch'esse dalla vibrazione. Il più

rappresentativo pone a confronto per la prima volta un gruppo placebo controllato; più precisamente esamina gli effetti di dodici settimane di allenamento vibratorio comparato ad un allenamento di resistenza (dodici settimane), sulla forza dei muscoli estensori del ginocchio, in 67 donne. I soggetti che rappresentano il gruppo placebo (GS) vengono disposti su di una pedana che simula impercettibili vibrazioni, mentre a quelli rappresentanti il gruppo di controllo non viene assegnata alcuna funzione di intervento. Prima e dopo l'esperimento si sono valutati con appositi test i valori corrispondenti di forza isometrica, isocinetica ed esplosiva. I risultati evidenziarono decisi incrementi nei dati del gruppo sperimentale (GS), ancor più significativi dei dati corrispondenti ai soggetti che avevano praticato l'allenamento di resistenza (GR). In termini di misurazioni, nel gruppo sperimentale si ottenne un aumento di forza nella prestazione isometrica e isocinetica, rispettivamente del 16% e 9%, contro un aumento del 14.4% e 7% del GR. Nella forza esplosiva si determinò un aumento solo del GS di circa 7.6%. Questo dato univoco identifica come l'incremento di forza ottenuto nel gruppo sperimentale sia del tutto indipendente all'effetto placebo (31).

In ultima analisi, l'incremento della forza esplosiva può essere tradotto in una marcata sincronizzazione delle unità motorie coinvolte nel movimento, ed un miglioramento durante l'inibizione reciproca tra agonisti/sinergici e antagonisti. Di questa idea sono gli ultimi studi più recenti i quali riportano risultati differenti riguardo l'incremento dei parametri di forza e potenza. Lo studio di Fort, infatti, dimostra come, in soggetti femminili giocatrici di basket, un periodo di

condizionamento di 15 settimane con *whole-body vibrations* sia in grado di determinare miglioramenti nei parametri di forza esplosiva e stabilità posturale (44). Al contrario Preatoni et al. (2012), con giocatrici di pallavolo, confrontando il classico allenamento di forza con quello vibratorio e l'unione di entrambi per un terzo gruppo sperimentale, ha determinato degli incrementi prestativi, tuttavia, non statisticamente differenti tra i tre protocolli promossi (68). A questo si aggiungono le scoperte di uno studio scandinavo nel quale la somministrazione di vibrazioni in sollevatori di pesi fortemente allenati ha determinato sia l'incremento dei picchi di potenza durante test di salto che l'attività elettromiografica del quadricipite femorale. Tuttavia la ripetizione massimale nello squat parallelo non ha portato allo stesso tipo di risultato (156). Rønnestad et al (2012), come Preatoni nello studio precedente, suggerisce che questa differenza di risultati potrebbe essere dettata effettivamente dalla maggiore efficacia delle vibrazioni sulla stimolazione neurogena che miogena e che quindi in situazioni di test che sono più sensibili allo sviluppo miogeno questi risultati siano meno marcati (142,156).

Appurato, dunque, che la vibrazione, seppur con risultati non sempre univoci, determina l'incremento delle qualità di forza, la letteratura scientifica presenta altri settori di indagine al fine di verificare, anche in ambito sportivo, come l'esercizio vibratorio possa determinare gli incrementi prestativi. È il caso degli studi che, analizzando le relazioni con il metabolismo energetico, riportano come una seduta su pedana vibrante aumenta il turnover dell'ATP in risposta all'esercizio. Ancora più chiara è la relazione lineare tra la frequenza di

vibrazione e la richiesta di ossigeno che corrisponde ad una domanda di $2.5 \mu\text{l kg}^{-1}$ per ciclo vibratorio con ampiezza di 5mm ad una frequenza di 20 Hz (150).

L'influenza data dall'ampiezza della vibrazione sembra non essere proporzionale con la richiesta di ATP. Infatti quando si presentano problemi di ricostruzione di ATP dati da un deficit del meccanismo aerobico come l'ipossiemia, viene impedita la fosforilazione ossidativa e si nota anche una diminuzione dei livelli di fosfocreatina; questo dato ci fa comprendere l'importanza che ha il sistema ossidativo durante una seduta vibratoria come meccanismo cardine nella ricostruzione dei substrati energetici.

In linea con quanto scoperto nello studio sopra citato, Kosar (2012) ha evidenziato come le vibrazioni possano essere una efficace strategia di recupero anche per quegli sport di endurance agendo appunto sul metabolismo energetico e permettendo un più rapido recupero(104). Il guadagno raggiunto in termini di resistenza da atleti professionisti e dilettanti dopo un allenamento di 2/3 volte alla settimana per un periodo di 6 settimane su una pedana per la WBV. La resistenza è considerevolmente migliorata dopo l'allenamento basato sulla vibrazione per i 6 esercizi testati e i risultati sono addirittura superiori per i professionisti(165).

Un altro aspetto degli effetti dell'allenamento vibratorio è l'aumento della temperatura corporea generata dal metabolismo energetico; uno studio dimostra come la temperatura intra-muscolare aumenti durante un esercizio vibratorio che colpisce tutto il corpo rispetto al semplice effetto vibratorio che si ha sulle braccia durante un esercizio alla bicicletta (20). Questo aumento di

temperatura è dato dalla richiesta di ossigeno da parte dei tessuti muscolari e dal turnover metabolico, con conseguente produzione di calore per offrire combustibile da utilizzare per il proseguo dell'esercizio (25, 27).

Infine, un ultimo filone di ricerca, ha indagato come il flusso ematico possa essere influenzato dalla fonte vibratoria. È stato osservato che l'esercizio vibratorio provoca vasodilatazione e irritazione con un conseguente rilascio di istamina (48, 68). L'irritazione della cute, infatti, risulta essere aumentata durante esercizio vibratorio(54, 55) e gli effetti sembrano essere più accentuati con frequenze prossime ai 30Hz (82).

In conclusione possiamo così riassumere sinteticamente gli effetti acuti delle vibrazioni.

- Incremento della forza, della potenza e del tono muscolare.
- Incremento del coinvolgimento delle fibre muscolari.
- Incremento dell'esplosività per la minore partecipazione dei muscoli antagonisti nel movimento.
- Incremento del flusso ematico per migliorare il riscaldamento/raffreddamento dei gruppi muscolari prima/dopo la prestazione.
- Aumento dell'ossigenazione generale e periferica.
- Incremento dei livelli di testosterone.
- Incremento significativo dell'ormone della crescita GH.
- Riduzione del livello di cortisolo.

ONE LEG WHOLE-BODY VIBRATION EFFECTS ON MUSCULAR STRENGTH AND BALANCE ABILITY:
TRAINED VS UNTRAINED LEG

- Carico articolare notevolmente ridotto rispetto agli esercizi di condizionamento convenzionale.
- Miglioramento dei riflessi posturali.
- Miglioramento della flessibilità e dell'elasticità muscolare.
- Miglioramento dell'arco di movimento.
- Miglioramento dell'equilibrio e della coordinazione.
- Aumento dell'attività elettromiografia (EMG)
- Aumento della temperatura muscolare
- Risposta dei recettori cutanei

Effetti dell'allenamento vibratorio sulla forza isometrica.

Al termine di quanto già ampiamente trattato in precedenza riguardo l'utilità dell'allenamento vibratorio nel determinare incrementi di prestazione, si è deciso di introdurre una più specifica dissertazione delle ricerche presenti in letteratura inerenti questa stessa metodica di condizionamento e lo sviluppo della forza in regime isometrico. Diverse sono le motivazioni che hanno indotto l'approfondimento, tuttavia, la più importante è stata sicuramente quella che ha determinato la creazione del protocollo sperimentale di cui si tratterà in seguito. La maggior parte dei protocolli di lavoro su pedana vibrante presentano tutti delle posizioni statiche. L'efficacia dell'allenamento, malgrado ciò, è poi determinato sia da test in condizioni di espressione della forza isometrica ma anche anisometrica. Da questo dunque la volontà di approfondire il tema focale della vibrazione in relazione allo sviluppo di forza isometrica.

Tra i primi studi relativi a quest'argomento è sicuramente di rilievo il lavoro di Bosco e coll.(1998) nel quale si valuta l'effetto di un trattamento di 10 giorni di WBV sulla capacità di salto verticale. Lo studio prevedeva 2 gruppi randomizzati di cui solo uno sottoposto a protocollo e l'altro usato come campione di controllo; i gruppi appartenevano ad una fascia di età compresa tra i 19 e 21 anni ed erano tutti soggetti fisicamente attivi. Il protocollo di allenamento consisteva in una seduta al giorno della durata di 10 minuti su pedana vibrante avente le seguenti caratteristiche: accelerazione di 54 m/s^2 , ampiezza di 10 mm, frequenza di 26Hz e score di valutazione di percezione

fisica dello sforzo compreso tra 0 e 9. La posizione di allenamento consisteva nel mantenere flessi gli arti inferiori con angolo del ginocchio a 90°. L'allenamento prevedeva una durata di 2 minuti per ogni ripetizione.

Si vide che miglioravano sensibilmente (6-12%) la capacità di esprimere potenza, l'altezza massima di salto verticale e l'altezza media dei salti ripetuti in serie tramite la misurazione con pedana di contatto e tempo di volo (17).

Lo stesso autore indagò sull'effetto a breve termine o acuto dato da una seduta di WBV della durata di 60s su una pedana vibrante avente le seguenti caratteristiche: accelerazione di 17 g, ampiezza della vibrazione 4 mm, frequenza di vibrazione 26 Hz e Score value di 9. I soggetti che vennero presi in considerazione erano 40 maschi fisicamente attivi di età compresa tra i 20.4 e 29.6 anni; essi si sottoponevano a dieci sessioni da 60 secondi l'una di vibrazioni, 60 secondi di recupero tra una ripetizione e l'altra mantenendo l'angolo delle ginocchia a 100° di flessione. Per verificare gli eventuali cambiamenti post protocollo venne inserito come test la misurazione di forza espressa dalla coscia durante un esercizio dinamico alla leg press con utilizzo del 70% di 1RM; venne inoltre registrato anche il tempo di volo e di contatto registrando l'altezza massima ottenuta da un salto verticale su una piattaforma di rilevazione. I dati che ne uscirono furono i seguenti: aumento del 7% della forza prodotta dai muscoli estensori della coscia ($P=0.003$); aumento del 4% della capacità di salto con ($P<0.001$) (19).

Tre anni più tardi anche un'altra equipe di ricercatori avanzò un protocollo di ricerca sugli effetti acuti dati dall'allenamento vibratorio; Torvinen e coll. (2002)

indagarono gli effetti di 4 minuti di vibrazione sia a livello di performance muscolare che a livello di equilibrio. Scelsero un gruppo composto da 16 soggetti sani e giovani, tra cui 8 maschi tra i 24 e 33 anni, e li sottoposero ad allenamento vibratorio multi direzionale accompagnato da ginnastica dolce; lo stimolo prodotto dalla pedana venne giudicato come 8 nello Score value e prevedeva frequenze di vibrazioni comprese tra i 15-30 Hz e ampiezze di 10mm. Il test proposto prima e dopo la seduta di allenamento prevedeva la misurazione della forza prodotta isometricamente durante un'estensione della gamba e la registrazione dell'altezza di salto. Entrambi questi due test produssero miglioramenti con un aumento del 3.2% nel primo e 2.5% del secondo. Sempre lo stesso anno Torvinen (2002) e collaboratori indagarono gli effetti di 4 minuti di vibrazione sia a livello di performance muscolare che a livello di equilibrio ma su un gruppo di 16 soggetti di cui sempre 8 maschi, aventi però, di età compresa tra i 18 e i 35 anni. Utilizzò il medesimo protocollo di allenamento caratterizzato da vibrazioni multi direzionali accoppiate a dolci movimenti. Vennero utilizzati diversi settaggi nella pedana vibrante a partire dalla frequenza vibratoria posta tra i 25 e i 40 Hz, l'ampiezza di vibrazione ridotta a 2mm con conseguente Score value di 8. I test che vennero utilizzati per questo protocollo furono uguali a quello sopra elencato con la piccola differenza nel test di salto che ora era un salto con contromovimento. I dati che emersero non evidenziarono cambiamenti di performance muscolare e di equilibrio nel periodo successivo, dai 2 ai 60 minuti, alla fine della seduta (181). Un ultimo studio fatto da Torvinen e coll. (2003) esaminò l'effetto di 4 mesi di

allenamento vibratorio sullo sviluppo della performance muscolare e dell'equilibrio. Utilizzò anch'egli 2 gruppi per un totale di 56 persone (21 uomini) dai 19 ai 38 anni sedentari in buona salute suddivisi in un gruppo di lavoro e uno di controllo. Il protocollo prevedeva sessioni di 4 minuti su pedana vibrante con accelerazione dai 2.5-6.4g, ampiezza di 2mm, frequenza dai 25-40Hz. Ripetevano la serie da 4 minuti dalle 3-5 volte a settimana combinato a leggeri esercizi non specificati nella ricerca. A fine trattamento si vide un aumento statisticamente significativo (+10.2%) (182).

Lo stesso autore sviluppò un protocollo di allenamento con un gruppo di soggetti sani sedentari composto da 53 soggetti di età compresa tra i 23.1 e 25.5 anni e li sottopose ad un allenamento vibratorio della durata di 4 minuti al giorno per 3-5 sessioni settimanali della durata di 8 mesi nel quale eseguivano esercizi statici e dinamici sulla pedana. Le caratteristiche della pedana erano le seguenti: progressione da 25-45 Hz, 2-8 g e 2mm di ampiezza vibratoria e 8 di score valutazionale. Per valutare gli eventuali miglioramenti delle capacità condizionali vennero fatti eseguire dei salti con contro movimento, leg press isometrica bilaterale; si evidenziò un aumento significativo nell'altezza del salto del 7.7% senza però aumentare la capacità in leg press (181).

In uno studio Russo e coll. (2003) indagarono l'effetto di 6 mesi di vibrazioni corporee sulla potenza muscolare e sulle modificazioni dell'apparato osseo. Vennero creati due gruppi, uno di controllo e uno d'allenamento, di 29 donne (61 +- 7 anni) post menopausa alle quali fu chiesto di sottoporsi a una doppia seduta settimanale che consisteva nell'esecuzione di 3 serie da 2 minuti l'una

(totale 6 min/dì) di allenamento vibratorio; la pedana vibrante era settata ad una frequenza di 12-28 Hz con 6 di Score value. Si vide un aumento del 5% di potenza muscolare ($P=0.004$) (162).

De Ruiter e coll. (2003) reclutarono un gruppo di studenti fisicamente attivi (10 maschi e 10 femmine) di età media di 20.7 M e di 19.9 F e li sottoposero ad allenamento vibratorio a 30 Hz e 8mm di ampiezza vibratoria nel quale dovevano mantenere una posizione statica monopodolica su arto flesso. Il protocollo prevedeva 11 settimane di allenamento da 3 sessioni/sett per un totale di 8 minuti a sessione. A fine trattamento vennero testata la forza durante l'estensione del ginocchio da posizione isometrica monopodolica e con un salto con contro movimento; non ci furono cambiamenti di forza né nell'altezza del salto da prima a dopo il protocollo (160).

Cochrane e coll. (2004) esaminò gli effetti di un training WBV della durata di 5 settimane su un gruppo di atleti non élite maschi e femmine dell'età media di 23.9 anni suddivisi in (12 M, 12 F). Il protocollo prevedeva di sottoporsi a WBV per 5 giorni a settimana, con 2 giorni di recupero e 4 di allenamento con tempi e sessioni non specificate. Lo stimolo vibratorio aveva le seguenti caratteristiche: 24 Hz di frequenza, 11 mm di ampiezza e il mantenimento di una posizione statica sull'attrezzo. Venne usato come strumento di verifica il salto con contro movimento e lo squat jump ma non si evidenziarono cambiamenti nell'altezza di salto avuta dopo il protocollo di allenamento (41).

Sempre lo stesso autore indagò gli esiti dati da 5 minuti di vibrazioni in una sola seduta. Scelse come soggetti 18 atlete d'élite praticanti il gioco dell'hockey su

prato, età comprese dai 16 ai 27 anni. L'esercizio consisteva nell'esecuzione di 5 serie da 1 minuto di vibrazione su pedana con recupero di 2 minuti tra una e l'altra; la frequenza di vibrazione era di 26 Hz, l'ampiezza di 6 mm e lo score value percepito 8. Si andavano a confrontare i dati ricavati prima e dopo l'allenamento usando dei test specifici come il vertical jump test (6 salti con contro movimento a braccia libere con il minimo tempo di contatto separati ognuno da 10 secondi di riposo). I risultati emersi evidenziarono un miglioramento dal 2% al 14% nell'altezza dei salti (26).

Rønnestad (2004) mise a confronto l'effetto della performance dello squat in un gruppo che si sottoponeva a esercizi di squat e a un gruppo che oltre a fare il medesimo esercizio utilizzava anche lo stimolo vibratorio. Il gruppo era composto da 16 atleti di resistenza con età variabile dai 21 ai 40 anni. Il gruppo di controllo eseguì una progressione di carichi che lo portò ad effettuare 6-10 RM su pedana vibrante attiva a 40 Hz con 5 come Score value per 4 serie a seduta, 3 volte a settimana per una durata di 5 settimane; l'altro gruppo eseguiva il medesimo allenamento ma su pedana vibrante non attiva e quindi senza l'ausilio di vibrazione. Densità dell'allenamento e recuperi non furono specificati nella ricerca scientifica presa in considerazione. Si notò che miglioravano entrambi i gruppi in entrambi i test proposti. Non ci furono differenze tra i 2 gruppi (155).

In un altro studio, Roelants e coll. (2004) investigarono gli effetti di un trattamento vibratorio di 24 settimane rispetto ad un allenamento di fitness confrontando i parametri riguardanti la forza muscolare. Utilizzò 3 gruppi: uno di

controllo, uno che svolgeva allenamento fitness e uno sottoposto a WBV. I soggetti erano 48 donne sedentarie con età compresa tra i 19.3 e i 23.3 anni. Il protocollo vibratorio prevedeva dai 3 ai 20 minuti di vibrazioni insieme a della ginnastica dolce. Il gruppo fitness seguiva un programma cardiovascolare standardizzato e un programma di resistenza. La vibrazione era compresa tra i 35 e i 45 Hz con accelerazione di 2.3-5.1 g e 2.5-5.0 mm di ampiezza vibratoria. Il test finale era svolto per evidenziare l'eventuale aumento di forza durante l'estensione del ginocchio su macchina isometrica. Ci fu un significativo aumento di forza in entrambi i gruppi allenati ($p < 0.001$) confrontati con il gruppo di controllo, e un aumento di forza del 7-25% nel gruppo sottoposto a stimolo vibratorio rispetto al controllo o al gruppo fitness (154).

Uno studio sviluppato nel 2005, Delecluse e coll. reclutò 20 sprinters divisi in un gruppo maschile (10 con età media di 21 anni) e uno femminile (10 soggetti con età media 21.4 anni) che vennero sottoposti ad allenamento vibratorio progressivo. Partendo da 35-40 Hz con 2.28-5.09 g di accelerazione e 1.7-2.5 mm di ampiezza vibratoria in cui eseguivano movimenti statici o dinamici per 9-18 minuti a sessione e 3 volte a settimana; con una durata massima di 5 settimane. Per valutare l'eventuale miglioramento fu utilizzato il valore pre e post protocollo con un salto con contro movimento e calcolato il valore di forza espresso durante la flessione/estensione del ginocchio in macchine isometriche.

Non ci furono differenze di forza e di altezza nel salto dopo il protocollo (51).

Uno studio più recente degli autori Paradisis e Zacharogiannis (2007)

investigarono sugli effetti prodotti da un allenamento vibratorio della durata di 6 settimane nell'ambito della forza esplosiva. Al protocollo parteciparono 24 volontari (12 uomini e 12 donne) divisi in 2 gruppi; il primo svolgeva allenamenti con ausilio di vibrazioni e il secondo venne usato come gruppo campione. Il programma prevedeva sessioni della durata variabile dai 16 ai 30 minuti per un totale di 3 sessioni a settimana su una pedana vibrante che aveva 2.28g di accelerazione e 2.5mm di ampiezza vibratoria e lavoravano con frequenze comprese tra i 25 e i 50 Hz. La capacità di sprint venne misurata prima e dopo il protocollo attraverso un test che prevedeva lo svolgimento di uno sprint massimale sulla distanza di 60 metri nel quale venivano annotati tempi di percorrenza sul tratto, velocità di corsa, lunghezza del passo e frequenza del passo. Inoltre vennero effettuati test per indagare la forza esplosiva espressa attraverso salto con contromovimento dove venivano annotati altezza massima di salto e numero di salti effettuati in un lasso di tempo pari a 30 secondi. I risultati emersi furono i seguenti: importante miglioramento del 2.7% della performance sui 10m, 20m, 40m, 50m e 60 m. Miglioramento che si evidenziò anche sulla lunghezza del passo e sulla velocità di percorrenza, rispettivamente del 5.1% e del 3.6%, e riduzione del 3.4% della frequenza del passo. Sostanziali miglioramenti avvennero anche nel salto con contromovimento dove l'altezza del salto migliorò del 3.3% e del 7.8% la resistenza alla forza esplosiva nel test sui 30 secondi (139).

Fernandez-Rio e coll. (2010) indagarono l'effetto a lungo termine sviluppato in termini di forza rispetto all'allenamento con strumento vibratorio in giocatrici di

basket. 31 giocatrici di basket vennero randomizzate in due gruppi, uno sperimentale e l'altro di controllo, che partecipavano al medesimo programma di allenamento; tuttavia il gruppo sperimentale eseguiva una serie di esercizi su pedana vibrante dai 30 ai 35 Hz di frequenza e con 4mm di ampiezza vibratoria, il gruppo di controllo faceva lo stesso ma senza ausilio di vibrazione. Per testare i risultati del protocollo, nello specifico della performance muscolare delle gambe, venne utilizzato l' Ergojump come piattaforma di contatto.

I test furono lo Squat jump, CMJ e 15 secondi di performance massimale eseguendo salti; oltre a questi test venne valutata la potenza sviluppata tramite l'estensione del ginocchio attraverso uno squat. Quello che emerse dopo 14 settimane di protocollo allenante fu un significativo incremento da parte di entrambi i gruppi (controllo e allenamento) della forza ($p < 0.001$) sviluppata nello SJ, CMJ, 15 secondi di salto. Dal confronto si evidenziò come non ci furono differenze sostanziali tra il gruppo di lavoro e il gruppo di controllo in nessuno dei parametri indagati e quindi conclusero sottolineando come l'allenamento vibratorio non abbia nessun effetto sensibile o additivo nello sviluppo di forza in giocatrici di basket dopo protocollo di 14 settimane. Per i ricercatori spagnoli l'allenamento vibratorio non si scosta dai classici e tradizionali metodi di allenamento della forza (64).

Wyon e coll. (2010) indagarono gli effetti provocati dall'allenamento vibratorio in termini di altezza di salto, su un gruppo di ballerine dopo 6 settimane di allenamento. I partecipanti erano 18 femmine (tra i 18 e 22 anni) di alto livello che negli ultimi tre anni di corsi avevano danzato dalle 12 alle 16 ore a

settimana. Vennero assegnati ad un gruppo di lavoro e uno di controllo casualmente; tutte le ragazze assumevano la pillola contraccettiva. Il gruppo di lavoro venne esposto a vibrazione di 35 Hz e 4mm di ampiezza vibratoria per 5 minuti ognuna delle due sedute settimanali; il gruppo di controllo invece venne sottoposto a simili contrazioni isometriche senza l'ausilio della vibrazione. I risultati indicarono che dopo 6 settimane di allenamento l'altezza di salto incrementò notevolmente nel gruppo di lavoro ($p<0.05$) rispetto al gruppo di controllo;concludendo che l'ausilio vibratorio è utile per mantenere l'altezza di salto con un minimo dispendio di tempo (10 minuti a settimana) e dovrebbe essere utilizzato come mezzo allenante(92).

Dabbs e coll. (2011) indagarono gli effetti dati da tempi di recupero differenti dopo allenamento con pedana vibrante sulla performance di salto verticale. 30 atleti (15 M, 15 F) volontari parteciparono a 4 incontri separati l'uno dall'altro da 24 ore nel quale svolsero questo programma: il primo giorno presero familiarità con il vertical jump e con il protocollo WBV; dalla seconda alla quarta seduta si faceva eseguire ai soggetti, previo riscaldamento di 10 minuti, il protocollo su pedana vibrante a 30 Hz di frequenza e e ampiezza vibratoria 6.5 mm. I candidati eseguivano 4 serie da 30" con recupero di 30" per un totale di lavoro pari a 2 minuti; durante lo stimolo vibratorio i soggetti eseguivano un quarto di squat ogni 5 secondi simulando un salto con contromovimento. L'esercizio su piattaforma era seguito da 3 salti con contro movimento con 5 diverse tipologie di recupero:immediatamente, 30 secondi, 1 minuto, 2 minuti e 4 minuti. Non furono registrati dati significativi ($p>0.05$) riguardanti i picchi di velocità o i tempi

di reazione a terra dopo i recuperi seguenti l'esercizio su pedana. Tuttavia, i risultati dell'altezza nel salto verticale rivelarono massimi valori a prescindere dai diversi tempi di recupero svolti (56.93 ± 13.98) in confronto al gruppo di controllo (54.44 ± 13.74 cm). Soggetti con gran capacità di salto aumentarono comunque le altezze di salto, ma tuttavia venne riscontrato che ognuno aveva dei tempi di recupero ben precisi nei quali riusciva ad esprimere la sua massima potenzialità (47).

Lamont e coll. (2010) indagarono sull'eventuale aumento di performance dato dalla somministrazione di 4 distinti protocolli di WBV. Due differenti frequenze di lavoro (30 e 50 Hz) vennero applicate in modo continuo (30 secondi) o intermittente (3 serie da 10" di vibrazione tra i 4 e i 6mm di ampiezza con recupero di 1 minuto tra le serie) su soggetti dell'età compresa tra i 18 e i 30 anni. Il salto con contro movimento venne eseguito prima (3 salti di cui venne registrato solo il migliore: T1p) e dopo uno specifico punto temporale iniziato a 2 minuti e finito a 17 minuti dopo l'esposizione ad allenamento vibratorio su pedana (9 salti suddivisi in 3 serie da 3 salti ognuna con recupero tra serie di 1 minuto). L'altezza del salto, il picco di potenza, il picco di potenza per chilogrammo di massa corporea, potenza media e velocità media vennero registrate. L'analisi statistica non rivelò differenze di altezza di salto ($p > 0.05$) (107).

Armstrong e coll. (2010) investigarono l'effetto acuto dato da un allenamento vibratorio a livello di altezza sviluppata in salto verticale. Per lo svolgimento di questo protocollo utilizzò 90 soggetti (30 uomini e 60 donne) di età compresa

tra i 18 e i 20 anni che furono assegnati casualmente a un gruppo di controllo, o ad un gruppo che veniva sottoposto ad uno degli 8 trattamenti con ausilio vibratorio (4 frequenze per 2 ampiezze). Ai soggetti veniva chiesto di mantenere i piedi alla larghezza delle spalle e il ginocchio piegato di 10° sulla pedana con frequenze di 30, 35, 40 o 50 Hz e ampiezza di 2-4 o 4-6mm in base al settaggio prestabilito. Prima, 1, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 minuti dopo il WBV o dopo il gruppo di controllo i soggetti effettuavano una serie di salti con contromovimento e venivano registrati i dati relativi alla prestazione da loro svolta. Il confronto venne fatto tra i cambiamenti dell'altezza del salto con contromovimento indagando sul tempo e tra i gruppi, frequenze e ampiezze. Ci furono differenze significative nell'altezza data dal salto; dato che lo scopo iniziale della ricerca era vedere se l'effetto di un minuto di vibrazione poteva essere considerato un buon mezzo di riscaldamento, a protocollo finito gli autori sottolineano come debbano essere trovate le giuste frequenze, ampiezze e durata per ottenere un riscaldamento che rispecchi le aspettative (5).

Ambito terapeutico.

Nella stimolazione neuromuscolare meccanica, gioca un ruolo fondamentale lo stimolo indotto dalla vibrazione, il quale come è ormai noto, è in grado di attuare le modifiche neuro-fisiologiche riflesse che coinvolgono le attività cellulari di quei compartimenti osteo-muscolari in esame. Nell'ambito terapeutico risulta ancora più importante valutare l'efficienza di determinate funzioni organiche, sia esse elementari o complesse, ma che tutte identificano uno stato di salute e qualità di vita che devono essere conquistati per quei soggetti presunti a rischio; giovani in fase di recupero post-intervento, soggetti con handicap funzionali temporanei, dopo infortunio, soggetti portatori di malattie degenerative, per la maggior parte dei casi individui di età avanzata.

Nel recupero da infortunio e dopo intervento, la pratica vibratoria ha trovato numerose applicazioni con esiti positivi, indirizzate per lo più a ridurre l'ipotonìa e conseguente atrofia muscolare. Nell'immobilizzazione, il tessuto muscolare va incontro a significative alterazioni strutturali: diminuzione della densità delle miofibrille insieme ad una loro disorganizzazione, in più vi è una diminuzione nella forza sviluppata, in particolare, per unità di sezione (15, 30).

Si è dimostrato, con alcuni studi di prima fase, condotti sui ratti, che una stimolazione di 5 ore protratta per due giorni, è capace di incrementare la sezione muscolare sia di fibre lente che veloci nei roditori (131). Più tardi si cercò di verificare gli stessi effetti attraverso studi di seconda fase, su soggetti

umani costretti a riposo forzato per 56 giorni.

Fu sperimentata l'azione dello stimolo vibratorio sulla reazione muscolare indotta. Si dimostrò in un primo studio come le risposte neuromuscolari migliorarono di circa il 90%, producendo anche effetti incrementali sulla produzione di lattato ematico, da 6,9 mmol/l a 9,2 mmol/l (147). In un secondo studio, invece si valutò le probabili contromisure all'instaurarsi dell'atrofia negli arti inferiori, in soggetti sperimentalmente trattenuti in riposo forzato per due mesi. Prima e dopo si verificò tramite biopsia muscolare, la sezione delle fibre sia FT che ST del vasto laterale e soleo. I risultati palesarono uno straordinario incremento di sezione di entrambi i tipi di fibre, nei soggetti sottoposti a vibrazione (11).

I precedenti studi sono da ritenersi poi fondamentali nel poter attribuire nuovi ruoli all'energia vibratoria; con essi infatti, e non solo, si è tuttavia stabilito come si potesse utilizzarla per scopi mirati nella fase ricondizionante, dopo evento traumatico, per quelle strutture organiche in netta involuzione, a seguito di lunghi periodi di forzato riposo; molto più efficace quindi, sarebbe programmare un protocollo di lavoro di tipo vibratorio, associato però ai classici interventi conservativi di fisioterapia e fisiokinesiterapia.

In questo modo si interverrà meccanicamente a stimolare i compartimenti o tessuti obiettivo, alternando metodi classici e nuovi, passando da una sollecitazione graduale e progressiva, i cui gradi d'intensità si potranno compensare nell'utilizzo di una metodica rispetto un'altra.

Altri due settori della medicina per i quali si sono effettuati molti studi scientifici

sono stati quelli gerontologici e geriatrici.

In gerontologia si sono valutati i possibili risultati che potesse determinare l'introduzione della metodica Ve, nel naturale processo d'invecchiamento, sotto il profilo biologico e psico-sociale. Testimonia ciò uno studio (23) eseguito su 42 pazienti volontari, di una casa di cura, a cui veniva fornito un esercizio vibratorio (Ve) per tre giorni la settimana, prolungato per 6 settimane. Il segnale fu fornito in quattro sessioni giornaliere da un minuto, con frequenza variabile da 10 a 25 Hz. Lo scopo dell'esperimento era valutare tramite questionario SF, la funzione fisica (PF), funzione sociale (SF), ruolo emotivo (RE), ruolo fisico (RP), salute mentale (MH), vitalità (V), dolore (P), stato di salute generale (GH) e cambiamento dello stato di salute, dopo somministrazione. Inoltre si è valutato la qualità della camminata ed equilibrio, insieme alla capacità motoria, tramite il test Tinetti e il test "chair rising". I risultati dimostrarono rispetto al gruppo di controllo notevoli modificazioni; tra i 9 indici elencati poc'anzi, si denotarono cambiamenti positivi in 7 di essi; per esempio si registrarono miglioramenti del 143% in PF, 41% in P, 60% in V e del 23% in GH. Tuttavia attraverso il test Tinetti venne osservato un ulteriore miglioramento del 57% nella qualità della camminata, e del 77% nell'equilibrio. Infine, dopo sei settimane si è registrato una diminuzione dell'ordine del 39% nel tempo impiegato per effettuare il test "chair rising". Sono dati questi che portano alla luce considerazioni positive sugli effetti benefici anche di piccole e moderate intensità, adatte proporzionalmente in qualsiasi soggetto (23).

Lo studio venne ulteriormente ampliato, destinandolo a un numero maggiore di

individui anziani (n= 212). La sperimentazione durò 2 mesi, ove nei quali i pazienti si sottomisero a vibrazioni tre volte la settimana in tre sessioni giornaliere da 2 minuti. Si effettuò prima e dopo il test “chair rising”; al termine si riscontrarono miglioramenti analoghi ai precedenti, con una diminuzione del tempo di esecuzione del 36% nello stesso test. Si traduce da questo risultato un aumento della potenza negli arti inferiori (161). Dall'altra parte un aumento della potenza e della forza, soprattutto in termini di sensazioni, garantiscono alle persone anziane una maggior consapevolezza dei propri movimenti, del proprio corpo, riuscendo a mantenere il più a lungo possibile un'indipendenza funzionale in primis, e altrettanto indirettamente consolidare la capacità d'equilibrio, ivi riducendo l'incidenza di cadute e presumibili eventi traumatici.

Risulta quindi di fondamentale importanza per quanto mostrato, elaborare nuovi metodi nel campo gerontologico, affinché si possa migliorare o quanto meno attenuare le problematiche che affliggono l'organismo nel naturale processo dell'invecchiamento. Le tematiche sempre più analizzate sono sicuramente quelle legate, al movimento, e nell'esecuzione di gesti quotidiani, come il cammino. Sin qui le sperimentazioni si sono soffermate nel valutare la qualità della camminata attraverso l'applicazione di test basati sull'attribuzione di un numero a delle sensazioni. Con questa ricerca scientifica alcuni scienziati giapponesi (98) presentarono uno studio nel quale si indagavano gli effetti della WBV sullo sviluppo della forza, equilibrio e sui parametri della camminata, in 67 soggetti anziani. Il segnale a cui si sono sottoposti, era caratterizzato da una frequenza di 12 Hz e 20 Hz fornita per 4 minuti totali ogni settimana, in due

mesi. I parametri del cammino che vennero stabiliti furono: tempo su 10 metri di cammino, lunghezza passo e il tempo trascorso in appoggio monopodalico. I valori furono registrati sia prima, che al termine dei due mesi di trattamento, e comparati ovviamente con un gruppo di controllo. Ebbene l'elaborazione dei dati evidenziò netti incrementi nei parametri del cammino appena elencati, percentualmente corrispondenti al -14.9% nel tempo di camminata, +6.5% nella lunghezza del passo, +65.0% nel tempo massimo di appoggio (piede dx) e +88.4% nel tempo massimo del controlaterale. Alla luce di questi dati, si è ipotizzato in seguito che gli indici di equilibrio e forza potessero essere rappresentati rispettivamente dal tempo di appoggio monopodalico (dx) e (sx), e dal tempo di camminata; perciò non avendoli misurati direttamente si è passati ad una stima indiretta, ma comunque verosimile del loro parallelo sviluppo (98). Nel ramo geriatrico, invece le maggiori sperimentazioni si sono orientate per lo più nel determinare e consolidare gli effetti benefici della vibrazione che in prima istanza si supponevano. Ossia l'attribuzione di un ruolo preponderante nella sollecitazione neuromuscolare meccanica, come anche il ruolo di metodo alternativo della stimolazione ossea, che sostanzialmente riproduce quella condizione necessaria affinché si possa garantire una certa qualità di vita in termini di aspettative.

A questo proposito si suggeriscono i principali studi e sperimentazioni che trattano principalmente il tessuto osseo, densità, forza che lo caratterizza, e le soluzioni posturali più consone a mantenere atteggiamenti motori, privi di rischio.

Partendo dal cammino, analizzato precedentemente, ricercatori portoghesi hanno dimostrato che stimolazioni vibratorie a bassa intensità sono in grado di ridurre in maggior misura i rischi da frattura rispetto alla deambulazione. Le misurazioni trovate, infatti hanno accertato un incremento della densità ossea del 4.3% nel collo femorale dei pazienti trattati, in più si registrò un aumento riflesso dell'equilibrio del 29%, osservato durante movimento su di una tavoletta propriocettiva (75).

Continuando ad esaminare la densità ossea, e le risposte incrementali che la vibrazione fosse in grado di procurare, uno studio americano del 2004 verificò gli effetti di 6 mesi di trattamento WBV sulla densità ossea delle anche, sulla forza muscolare (isometrica e dinamica) e sul controllo posturale in 70 donne nello stato post-menopausale. Come già affermato, il medesimo stato caratterizza un fattore di rilievo nel predisporre maggiormente le donne all'osteoporosi. In più la valutazione sulla composizione ossea nelle anche, concettualmente si riferisce a quella porzione ossea che maggiormente diviene vittima di fratture e traumi, causati per lo più da cadute in ortostatismo. Il protocollo in oggetto prevedeva un gruppo sperimentale (GS), un gruppo di controllo (GC), e un ulteriore gruppo a cui veniva fornito un tipo di allenamento classico della forza (GR). Al termine del protocollo si osservò nei dati relativi al gruppo sperimentale e GR notevoli cambiamenti. Infatti i due gruppi incrementarono pressoché analogamente del 17.6% e del 16% nella forza muscolare isometrica e del 16.5%, 10.6% nella forza dinamica del quadricipite. Per quanto riguarda la densità ossea, valutata complessivamente oltre che

nell'anca, si riscontrò un aumento solo nel gruppo sottoposto a WBV (89).

Ne consegue che una maggiore potenza muscolare, il controllo posturale e l'equilibrio sono anch'essi fattori rilevanti. Studi eseguiti su soggetti anziani hanno dimostrato che, usando la WBV, tutti questi aspetti sono migliorabili (53, 70, 71)

Un ennesimo studio fu condotto analogamente su 20 bambini che si sottoposero per 10 minuti al giorno a WBV per 6 mesi; con lo scopo di verificare fenomeni di opposizione alla bassa densità ossea, nelle parti ossee esaminate. Si dimostrò effettivamente che i pazienti trattati ebbero significativi guadagni di densità nell'ordine dei +3.8 mg/nl per le vertebre e di +18.2 mg/nl (189). Risultati simili sono stati ottenuti più recentemente da studi che hanno analizzato come variabile dipendente la densità ossea in funzione di diverse tipologie di esercizio vibratorio in campioni di soggetti anziani. Questi studi infatti hanno evidenziato come la somministrazione di WBV possa determinare un effettivo rallentamento della naturale degenerazione delle strutture ossee(38,74,106,172). Miglioramenti questi ai quali si aggiungono anche incrementi nella fitness cardiorespiratoria (12), nel controllo posturale e della deambulazione (13).

Infine alcuni studi hanno rilevato un aumento della secrezione sia del testosterone che dell'ormone della crescita (HGH) (14, 18, 19). Questi ormoni stimolano la sintesi delle proteine e contribuiscono all'accumulo di tessuto muscolare, oltre a svolgere un ruolo nell'aumentare la capacità di trasportare ossigeno del sangue. È possibile allenarsi più a lungo in totale sicurezza.

L'ormone della crescita produce un effetto diretto praticamente su tutte le cellule del corpo. Tra gli effetti maggiori vi sono: controllo del tempo di crescita delle ossa e sviluppo di tessuti più morbidi come quelli muscolari, nonché stimolazione della lipolisi nelle cellule grasse con riduzione dei livelli di grasso nel corpo. L'elevata produzione di HGH porta inoltre a una guarigione più rapida di cellule affaticate o lese e consente un recupero più veloce. L'ormone dello stress, il cortisolo, si riduce anch'esso notevolmente, per cui l'utilizzatore si sente bene e rilassato dopo una sessione sulla pedana vibrante (30).

Il significato principale è che il trattamento WBV oltre a poterlo considerare come esercizio compensativo all'allenamento, è sicuramente un metodo ausiliare in più, al fine di intervenire con validità estrema, stimolando meccanicamente i tessuti ossei in fase degenerante, azzerandone i fattori di rischio da ipersollecitazione e sovraccarico tendineo.

Un'altra differenza importante tra i metodi di allenamento convenzionali e la WBV sta nel fatto che il carico è minimo. Non sono necessari pesi aggiuntivi, il che garantisce un carico estremamente ridotto delle strutture passive del corpo come ossa, legamenti e articolazioni. Per questo la WBV è particolarmente idonea per soggetti difficili da allenare a causa dell'età o del peso, oppure di patologie, disturbi o lesioni. D'altro canto, il metodo è anche particolarmente appropriato per gli atleti professionisti che intendono stimolare e rinforzare i muscoli senza sovraccaricare le articolazioni. Oltre all'influenza sui muscoli, la WBV può anche avere un effetto positivo sulla densità minerale ossea; le vibrazioni causano compressione e rimodellamento del tessuto osseo, attivando

gli osteoblasti, riducendo nel contempo l'attività degli osteoclasti. La stimolazione ripetuta di questo sistema, abbinata alla maggiore trazione esercitata sulle ossa dai muscoli, aumenta nel tempo la densità minerale ossea. È altresì probabile che la migliore circolazione e la perfusione ossea correlata derivante da una maggiore disponibilità di nutrienti, che sono anche in grado di penetrare meglio il tessuto osseo, offrano il proprio contributo.

CAPITOLO DUE:

L'ALLENAMENTO INCROCIATO

L'ALLENAMENTO INCROCIATO

Scoperto più di un secolo fa, l'allenamento incrociato della forza è un fenomeno ben noto per cui il condizionamento unilaterale dell'omologo gruppo muscolare produce un aumento della forza anche dell'arto contro laterale (168). Tuttavia, mentre abbondano studi che confermano l'esistenza dell'allenamento incrociato, poco si sa i meccanismi responsabili del trasferimento della forza(31). Molte evidenze sperimentali suggeriscono che adattamenti all'interno del sistema nervoso siano i più probabili responsabili, ciononostante il livello di partecipazione dei meccanismi corticali, spinali e periferici sono ancora da quantificare in modo corretto e completo (1, 21) In questo capitolo della tesi analizzeremo in dettaglio le attuali evidenze scientifiche riguardanti questo fenomeno: l'entità del trasferimento forza, l'effetto delle diverse modalità di allenamento e le possibili sedi di adattamento all'interno del sistema nervoso che possono contribuire al trasferimento della forza stessa.

L'immobilizzazione di un arto o di un'articolazione è spesso richiesto in seguito ad eventi traumatici come lesioni muscolo-scheletriche o trattamenti chirurgici (35, 47, 51). Atleti che partecipano a sport popolari come il calcio, la pallavolo ed il basket (176), anziani durante attività quotidiane (164) e lavoratori a seguito di incombenze professionali (111) sono comunemente soggetti ad infortuni da sovrallenamento e/o lesioni traumatiche acute richiedenti l'immobilizzazione. Purtroppo, seppur per brevi periodi di immobilizzazione, a

questo riposo forzato consegue una significativa perdita di funzionalità dell'arto interessato che spesso richiede un periodo molto più lungo di riabilitazione per essere recuperato (22, 54). Poiché l'atrofia e la perdita di forza indotta dall'immobilizzazione hanno spesso un impatto enorme sulle prestazioni sportive e la qualità della vita è molto importante, in questo periodo, ridurre al minimo tali effetti. L'allenamento della forza unilaterale potrebbe offrire l'opportunità di evitare la perdita di forza e l'atrofia attraverso il trasferimento di forza al muscolo inattivo per effetto dell'allenamento incrociato. Si è ipotizzato che una riduzione della trasmissione neurale al gruppo muscolare inattivo può contribuire alla perdita di forza, soprattutto nelle prime fasi di immobilizzazione, tuttavia le evidenze dirette a sostenere tali teorie sono limitate ed inconsistenti (6, 10, 37, 56). Tuttavia, appare interessante l'ipotesi che i meccanismi neurali, come le complesse connessioni cerebrali, alla base di questo fenomeno, possano avere un ruolo importante nel mantenimento della funzione nervosa stessa durante i periodi di immobilizzazione. La letteratura recente sembra sostenere questa teoria, con due studi separati che con successo hanno ottenuto una conservazione della forza mediante l'applicazione di allenamento di forza unilaterale per l'arto libero durante un finto e breve termine d'immobilizzazione (15, 38).

LE EVIDENZE SCIENTIFICHE

Il fenomeno dell'allenamento incrociato è stato osservato per la prima volta nel 1894, quando un protocollo unilaterale per l'incremento della forza di un singolo arto è stato applicato per determinare miglioramenti anche nel controlaterale non allenato (168). Fin dalla sua scoperta, numerosi studi hanno fornito prove a sostegno dell'esistenza di questo transfert (15, 24, 26, 33). Una varietà di protocolli di allenamento hanno comprovato un effettivo trasferimento di forza: metodiche isometriche, dinamiche di elettrostimolazione (24, 26, 33, 58). Il guadagno in termini di forza sembra essere specifico per gruppi muscolari omologhi: studi recenti dimostrano che l'effettivo trasferimento forza all'arto non allenato è direttamente proporzionale all'incremento osservato nell'arto addestrato (31,83,125,126,200). Si ritiene che l'allenamento incrociato si verifichi come risultato di adattamenti neurali, tuttavia l'esatto meccanismo alla base del trasferimento della forza richiede ancora ulteriori indagini; la letteratura corrente, infatti, non ha ancora determinato l'entità del contributo del sistema nervoso centrale. Le entità di migliorate comprovate da studi presenti in letteratura sono ancora molto variabili e controverse: nell'arto controlaterale non allenato si passa da miglioramenti minimi pari al 3% (71) a massimi del 77% (86). Le differenze nei protocolli di allenamento, compreso il tipo di contrazione, la velocità e l'intensità, sembrano contribuire alla forti differenze osservate (13, 15, 24, 26, 33). Una recente meta- analisi dei dati esistenti è stata condotta su

di una vasta gamma di protocolli al fine di determinare che l'entità dell'aumento medio di forza dell'arto non allenato è pari al 7,6% (31).

È stato dimostrato che il tipo di contrazione può influenzare l'entità del trasferimento di forza: contrazioni eccentriche producono un incremento tre volte superiore a quello ottenuto con esercitazioni concentriche o isometriche (86). Lo stesso studio ipotizza che il maggiore feedback propriocettivo, tipico delle contrazioni eccentriche, possa essere il principale responsabile di questo trend. Inoltre, l'aumento dei feedback afferenti durante elettrostimolazione potrebbe suggerire una possibile spiegazione del maggiore trasferimento di forza osservato nel confronto con contrazioni volontarie (88).

Concludendo, il confronto dei maggiori studi che hanno dimostrato l'efficacia dell'allenamento incrociato ricorrendo a protocolli con contrazioni pari o superiori al 60% della massima contrazione volontaria (MVC), ha stabilito che il condizionamento ad elevata intensità produce un maggiore trasferimento di forza all'arto controlaterale non addestrato (1, 60). A questo si aggiunge che l'allenamento dell'arto dominante ha dimostrato di produrre un effetto maggiore del fenomeno: alcuni studi pubblicati recentemente, infatti, suggeriscono che questa caratteristica presenta forti somiglianze tra il trasferimento della forza e delle abilità motorie (11, 14). Questo stesso trasferimento delle abilità motorie, in particolare nell'apprendimento di movimenti balistici, è un fenomeno molto ben studiato che fornisce un'ulteriore indicazione del contributo neurale come possibile fattore di mediazione nel trasferimento di forza (2, 34). Risultati recenti hanno suggerito che l'adattamento di diversi siti nel sistema nervoso centrale

ONE LEG WHOLE-BODY VIBRATION EFFECTS ON MUSCULAR STRENGTH AND BALANCE ABILITY:
TRAINED VS UNTRAINED LEG

contribuiscono all'efficacia di questo fenomeno nel trasferimento sia delle abilità motorie che dell'allenamento di forza(1, 2, 21, 34, 41).

I POSSIBILI MECCANISMI PER IL TRASFERIMENTO DI FORZA

I siti di adattamento che possono essere coinvolti nell'allenamento incrociato possono essere classificati in muscolare, spinale o corticale. Per ottenere una migliore comprensione del potenziale contributo di adattamento di ogni sito, è indispensabile esaminare criticamente la letteratura attualmente disponibile per ogni categoria.

Meccanismi muscolari.

È ampiamente accettato che i programmi di allenamento per la forza producono nei muscoli periferici adattamenti come l'ipertrofia. La variazione nella composizione delle proteine contrattili e l'aumento della concentrazione degli enzimi muscolari contribuiscono ad un aumento di forza osservata nel muscolo addestrato (67). Tuttavia, gli studi che esaminano l'allenamento unilaterale non sono ancora riusciti ad identificare i fattori muscolari periferici che determinano i significativi adattamenti nell'arto controlaterale non addestrato. Questi ultimi, infatti, suggeriscono che i meccanismi muscolari verosimilmente non giochino un ruolo importante nel trasferimento di forza ottenuto con questo fenomeno (23, 27). Se questo indica che gli adattamenti si verificano prevalentemente nelle regioni corticali e spinali, gli autori di una recente review sostengono che piccoli adattamenti periferici non si possono escludere del tutto come contribuenti all'efficacia dell'allenamento incrociato (31).

Meccanismi spinali.

Ci sono prove che suggeriscono che gli adattamenti nei circuiti spinali si verificano dopo l'allenamento di forza, tuttavia la metodologia attuale non è in grado di determinare le specifiche vie spinali che possono esserne coinvolte (34). Il riflesso di Hoffman (H-reflex) è un riflesso comunemente utilizzato per quantificare l'efficacia della prima via afferente. È essenziale riconoscere che gli input corticospinali ed afferenti potrebbero influenzare l'eccitabilità del motoneurone e che quindi le differenze in tale riflesso non possano essere attribuite esclusivamente a meccanismi spinali, ma anche ad input presinaptici (138). La maggior parte della letteratura che analizza gli effetti dell'allenamento di forza sul H-reflex ha evidenziato dati solo per l'arto allenato e, analogamente, la ricerca che sta esaminando il ruolo dei meccanismi spinali nel trasferimento della forza è limitata. Gli autori di un articolo recente hanno concluso che l'aumento del riflesso di Hoffman dell'arto addestrato è osservabile solo quando il riflesso viene suscitato durante la contrazione volontaria, senza evidenti modifiche nel muscolo a riposo (3). Solo altri tre studi hanno preso in esame il H-reflex nell'arto non allenato, senza però individuare segnali di variazione significativa, nonostante gli incrementi di forza (8, 16, 31). Questi risultati suggeriscono che l'adattamento neurale nell'arto non allenato si verifica prevalentemente a un livello corticale superiore, anche se, in mancanza di ulteriori indagini, non si possono escludere nell'adattamento minori contributi a livello spinale e dei motoneuroni.

Meccanismi corticali.

Il complesso delle connessioni interemisferiche e le fibre corticospinali omolaterali forniscono delle vie per l'unità neurale, dalla corteccia motoria primaria, al fine di stimolare l'omologa muscolatura controlaterale durante la contrazione unilaterale (1, 4, 5). Il termine "irradiazione neuromotoria" descrive l'attività bilaterale corticospinale che si verifica durante movimenti unilaterali, la quale sembra essere mediata da queste vie (36). La letteratura attuale indica che l'irradiazione neuromotoria potrebbe essere un meccanismo candidato a contribuire al trasferimento di forza osservato nell'allenamento unilaterale (35,87,140,178). L'attività neuromotoria dell'arto passivo, infatti, sembra essere dipendente dalle dimensioni dell'eccitazione diretta all'arto in movimento (35,36,140), specialmente se la contrazione volontaria avviene nel dominante (36). Questo ha una buona corrispondenza con le scoperte riguardanti l'allenamento incrociato, dove le elevate intensità e l'allenamento del braccio dominante suscitano un maggiore trasposizione della forza (62).

La stimolazione magnetica transcranica (TMS) è una tecnica di valutazione neurologica che è stata utilizzata per esaminare adattamenti all'interno del percorso corticospinale seguendo vari interventi (78). La procedura non è invasiva e comporta la stimolazione della corteccia motoria primaria tramite un impulso magnetico, per produrre una contrazione muscolare misurabile conosciuta come "Potenziale neuromotore evocato" (MEP)(78). L'ampiezza picco-picco del MEP rappresenta il numero di sinapsi discendenti che raggiungono il muscolo di interesse, nota come eccitabilità corticospinale (78).

Diversi studi TMS hanno dimostrato un aumento a breve termine dell'eccitabilità corticospinale dell'innervazione omolaterale dell'arto a riposo mentre l'altro esegue contrazioni unilaterali da moderata ad elevata intensità (123,174,177). Inoltre, studi di neuroimaging hanno dimostrato che la corteccia motoria primaria omolaterale, l'area motoria supplementare e prefrontale sono attive durante la contrazione unilaterale (52,60,99). Riassumendo, tutti questi studi forniscono una prova diretta dell'irradiazione neuromotoria, ma non sono in grado di individuare i siti specifici all'interno del sistema nervoso che determinano l'effetto.

Sempre da questi studi è emerso che l'interazione emisferica attraverso il corpo calloso possa contribuire all'irradiazione neuromotoria (83). Le complesse connessioni orizzontali tra la corteccia motoria primaria destra e sinistra possono interagire per trasmettere l'attività eccitatoria e ridurre l'attività inibitoria dalla corteccia motoria attiva a quella inattiva, in un fenomeno descritto come effetto "spill-over" (35,36). Un recente studio ha utilizzato impulsi TMS, consentendo la quantificazione delle risposte inibitorie, per scoprire che l'inibizione interemisferica dalla corteccia motoria primaria addestrata alla non allenata è diminuita del 31% dopo l'allenamento unilaterale del muscolo dorsale interosseo della mano (87). Inoltre, è stato osservato un forte aumento dell'eccitabilità corticale del muscolo dorsale interosseo non allenato sia in fase attiva che di riposo (87). Questi risultati indicano che l'allenamento unilaterale cronico induce sia una maggiore eccitabilità che una riduzione dell'inibizione neurale di quelle strutture che innervano l'arto controlaterale non allenato,

agendo così come meccanismo primario responsabile del guadagno di forza nell'arto non allenato stesso.

Oltre alle connessioni emisferiche, le vie omolaterali corticospinali possono giocare un ruolo nella determinazione dei risultati dell'allenamento incrociato. È noto che una piccola parte (circa il 10-15%) delle fibre corticospinali non decussano a livello midollare, tuttavia ci sono diversi dibattiti riguardo il ruolo di queste fibre nel processo di irradiazione neuromotoria. Per molti anni si è creduto che le fibre omolaterali innervassero solo i muscoli assiali, e non erano quindi considerate come collaboratrici dell'irradiazione stessa (129). Tuttavia, la ricerca più recente ha dimostrato che queste stesse fibre possono potenzialmente innervare i muscoli distali degli arti, in particolare nel ristabilire il movimento a seguito di lesioni alla corteccia motoria primaria (140,178). Questo suggerisce che l'eccitazione delle vie omolaterali che portano al muscolo non allenato, attraverso le fibre corticospinali non incrociate, possono contribuire all'irradiazione neuromotrice e al guadagno di forza attraverso allenamento incrociato.

Ci sono numerosi possibili siti di adattamento che possono contribuire al trasferimento di forza visto con l'allenamento unilaterale e la letteratura corrente non è in grado di fornire una conclusione definitiva circa l'importanza dei vari meccanismi che sono stati discussi. Mentre i fattori corticali forniscono una possibile spiegazione, è stato suggerito che gli altri meccanismi che contribuiscono all'adattamento non possano escludersi a vicenda, ma possano intervenire differenzialmente a seconda del gruppo muscolare, del protocollo di

allenamento e dei soggetti (31). Ulteriori ricerche sul contributo delle risposte periferiche, spinali e corticali all'allenamento unilaterale dovranno essere effettuate prima che il contributo preciso di ogni possibile meccanismo possa essere determinato.

L'immobilizzazione è nota per avere un significativo effetto negativo sulla capacità funzionale del muscolo scheletrico, spesso ne consegue una perdita di forza e massa muscolare (84,115,179). La perdita di forza sembra essere rapida, con periodi di immobilizzazione più corti di una settimana si causano significative riduzioni nella massima contrazione volontaria (115). L'atrofia muscolare, al contrario, si manifesta più lentamente: molti studi riportano una minor ma comunque significativa diminuzione dell'area trasversa del muscolo dopo brevi periodi di immobilizzazione (59,84). A questo punto, il rapporto tra l'immobilizzazione e il sistema nervoso centrale risulta poco chiaro.

L'entità della perdita di forza seguente ad immobilizzazione sembra essere molto variabile, a seconda dell'età e del sesso del soggetto, del gruppo muscolare, della durata, e del metodo di immobilizzazione stessa (84,179,185,196). In uno studio recente l'immobilizzazione per tre settimane dell'arto inferiore sembra provocare la maggior perdita di forza nel quadricipite pari al 47% della MVC (84). L'immobilizzazione dell'arto superiore presenta decrementi di forza leggermente inferiori, con una diminuzione del 35% nella MVC del bicipite osservato dopo quattro o cinque settimane di immobilizzazione del gomito (198). L'utilizzo di ingessature o sostegni (84,185) ha mostrato di avere un effetto maggiore sulla forza rispetto al ricorso di bendaggi o

sospensioni (29), indipendentemente dal gruppo muscolare o dalla durata dell'immobilizzazione. L'effetto dell'età e del sesso sulla perdita di forza ha prodotto risultati un po' equivoci, anche se sulla base della letteratura esistente è probabile che le donne e gli anziani verifichino una perdita di forza maggiore (179,185,196). Questo indica che gli studi di immobilizzazione dovrebbero essere progettati in modo tale che i campioni siano suddivisi per sesso ed età. Sebbene diminuzioni dell'area trasversale del muscolo seguenti immobilizzazione non corrispondono con l'entità della perdita di forza, vi è un vasto numero di articoli che suggeriscono che brevi periodi di immobilizzazione possono causare significative atrofie muscolari (84,97,198). Ricerche recenti, inoltre, hanno mostrato l'atrofia indotta da immobilizzazione è pari a circa un quarto della perdita di forza (84,115,170). Similmente la perdita di forza e la riduzione della sezione trasversa sembra essere maggiore negli arti inferiori quando si usano ingessature (84).

L'ALLENAMENTO INCROCIATO ED IL SISTEMA NERVOSO

Molti studi concludono che la riduzione di forza indotta da immobilizzazione è in gran parte dovuta ad adattamenti neurali, ma questa ipotesi è spesso basata su prove indirette, come la di perdita di forza stessa e l'atrofia (84,115). La letteratura, indagando attraverso l'utilizzo dell'elettromiografia di superficie (EMG), ha sempre osservato una significativa riduzione dell'attività neurale in seguito ad interventi d'immobilizzazione(84,97),con cali fino a 43% dopo periodi di tre settimane(84). A maggior ragione, gli studi che utilizzano la EMG intramuscolare hanno osservato una forte riduzione della frequenza di scarica delle unità motorie (54,170). Tuttavia, mentre questi risultati suggeriscono una ridotta attivazione neurale dopo immobilizzazione, tecniche di ricerca più avanzate che esaminano la funzione corticospinale ed i riflessi spinali ne hanno dimostrato l'inconsistenza.

Diversi studi (31,33,35,80,87) hanno indagato i cambiamenti nella eccitabilità corticospinale dopo brevi periodi di immobilizzazione. Alcuni di questi studi hanno osservato riduzioni di attività cerebrale seguente ad immobilizzazione (57,195), indicando una diminuita eccitabilità della via corticospinale che innerva il muscolo inutilizzato. Tuttavia, altri studi hanno prodotto prove contrastanti, osservando differenze significative nell'attività cerebrale osservata dopo immobilizzazione (115).

Molti fattori, quali la durata dell'immobilizzazione, le differenze nei gruppi

muscolari indagati, l'attività muscolare durante la prova e il tempo necessario tra la rimozione del gesso e la stimolazione possono contribuire alle discrepanze nella letteratura corrente.

Allo stesso modo, la ricerca esaminando l'effetto dell'immobilizzazione sulla eccitabilità dei motoneuroni ha finora prodotto risultati dubbi. Diversi studi non hanno riportato alcun cambiamento nel H – reflex (39,95), o nella F-wave (scarica di motoneuroni eccitati)(57) dopo immobilizzazione di breve periodo, indicando che l'eccitabilità del motoneurone non era interessata dal processo di immobilizzazione stessa. Un altro studio ha osservato una notevole riduzione del riflesso di Hoffman dopo 20 giorni di riposo a letto, indicando una diminuzione dell'eccitabilità spinale del motoneurone (195). In contrasto con questi studi, un aumento del H - reflex è stato riportato in seguito ad una settimana di bloccaggio del polso (115).

Molti dei precedenti studi che hanno investigato i riflessi spinali e della via corticospinale, hanno esaminato i pazienti al momento della rimozione del gesso quando, in seguito alle lesioni ortopediche, la stimolazione afferente poteva essere confusa dal dolore e dall'infiammazione (95,112). Tali protocolli non potendo presentare i dati dei test pre-infortunio o di un gruppo di controllo hanno ottenuto risultati limitati, soprattutto quando sono stati utilizzati campioni di piccole dimensioni. Inoltre, la maggior parte di questi studi non sono riusciti a correlare questi risultati con misure funzionali come la perdita di forza e atrofia. A questo punto, sembra che una riduzione dell'impulso corticospinale innervante il muscolo inattivo sia la spiegazione più probabile per il rapido

declino della forza osservatasi dopo un breve periodo di immobilizzazione. Sebbene la maggior parte delle ricerche esistenti suggeriscano che una riduzione della eccitabilità dei motoneuroni non giochi un ruolo importante, la possibilità di un contributo da parte degli adattamenti spinali non può essere esclusa. Visti i risultati contrastanti della letteratura corrente, un approccio sistematico di indagine è tenuto a fornire una comprensione più profonda del coinvolgimento del sistema nervoso nell'immobilizzazione.

IMPLICAZIONI DELL'ALLENAMENTO INCROCIATO

Se gli adattamenti neurali sono effettivamente i responsabili della riduzione precoce della funzione muscolare dopo l'immobilizzazione, vi è la possibilità che l'allenamento incrociato possa fornire un mezzo per ridurre questi effetti negativi mantenendo funzionante la via corticospinale che innerva l'arto immobilizzato. Ad oggi, due studi hanno cercato di applicare l'effetto di questa tipologia di allenamento per mantenere la forza ed il volume del muscolo in un arto immobilizzato (59,115). Entrambi gli studi hanno dimostrato che la forza ed il volume muscolare dell'arto immobilizzato è stata correttamente mantenuta dai soggetti dei gruppi sperimentali che hanno preso parte all'allenamento unilaterale dell'arto libero per un periodo di tre settimane (59,117). I partecipanti sottoposti ad identica immobilizzazione senza l'allenamento dell'arto libero hanno manifestato una significativa riduzione della forza e della massa muscolare. Tutto questo indica che i risultati positivi sono direttamente attribuibili agli effetti dell'allenamento incrociato (59,117). Tuttavia non avendo effettuato nel corso di questi studi test neurologici, non è possibile concludere se gli adattamenti neurali possano essere responsabili del mantenimento della forza e delle dimensioni muscolari. L'applicazione di test specifici avrebbe consentito la quantificazione degli adattamenti neurologici dopo immobilizzazione, fornendo una più profonda comprensione dei meccanismi che sono alla base dell'effetto dell'allenamento incrociato.

Nonostante ciò, il soddisfacente mantenimento della forza e del volume muscolare nel tessuto sano immobilizzato (59,117) fornisce una prospettiva promettente sia nella riduzione dell'impatto negativo dell'immobilizzazione che nel miglioramento del recupero. Arti ed articolazioni immobilizzate a causa di lesioni muscolo-scheletriche hanno un profondo effetto sugli individui che ne soffrono. Per gli atleti, la perdita di concentrazione associata ad immobilizzazione è spesso causa di protratti decrementi di prestazione, e l'allontanamento e la riabilitazione per recuperare la forma sono percepiti come perdita di tempo utile (176). I pazienti anziani che necessitano di immobilizzazione spesso hanno maggiori difficoltà nel recuperare la funzione muscolare perché più intenti a reclamare la loro precedente indipendenza e qualità di vita (164). Dipendenti ed imprenditori soffrono la mancanza dello stipendio quando i periodi di recupero lunghi li costringono a lasciare e a non trovare lavoro, in particolare nel caso di professioni fisicamente impegnative ed intense (111). In ogni caso, il mantenimento della forza e della funzione muscolare durante l'immobilizzazione fornirà numerosi esiti positivi per il paziente, ed i risultati degli studi sull'allenamento incrociato finora suggeriscono che il trasferimento forza può svolgere un ruolo fondamentale nel migliorare il recupero.

La ricerca futura comporta l'applicazione dell'allenamento incrociato per la forza non solo in un contesto clinico e sportivo. È necessario, quindi, determinare le più complesse risposte fisiologiche e neurologiche che si verificano in presenza di trauma, dolore ed infiammazione muscolare. Analogamente, è possibile che

l'allenamento unilaterale possa avere applicazioni cliniche anche per pazienti affetti da paralisi associati ad ictus e ad altri disturbi neurologici. Tuttavia, tali condizioni possono presentare molteplici complicanze, che potrebbero ulteriormente confondere l'interpretazione dei risultati. In tal modo una più profonda comprensione dei meccanismi di tale fenomeno si rende così necessaria al fine di formulare accurate ipotesi riguardo l'utilizzo dell'allenamento incrociato anche in tali tipologie di pazienti (80).

CONCLUSIONI

In conclusione è stata provata l'efficacia dell'allenamento incrociato ma il livello di partecipazione dei meccanismi periferici, spinali e corticali che sono alla base del trasferimento della forza rimane ancora incerto (80). A questo punto sembra che l'irradiazione neuromotoria, attraverso le connessioni interemisferica e omolaterali delle fibre corticospinali, possa contribuire al guadagno di forza osservato nell'arto non allenato, tuttavia è necessario proseguire l'indagine prima che possa essere disegnata una conclusione definitiva (31,53,80). Lo sviluppo più recente della ricerca sull'allenamento incrociato si concentra maggiormente sulla sua applicazione nell'ambito clinico dell'immobilizzazione: gli effetti degenerativi di tale condizione a breve termine sulla funzione muscolare sono ben documentati, con l'abbondanza di letteratura che documenta la rapida perdita di forza seguita da una graduale diminuzione della sezione muscolare trasversa (31,34,108,121). Sebbene le prove dirette sul ruolo del sistema nervoso in questo processo siano piuttosto inconsistenti, sembra probabile che una diminuita attività corticospinale agisca come meccanismo primario nella riduzione della funzione e prestazione muscolare. Appare possibile dunque che l'allenamento unilaterale induca una maggior stimolazione dell'irradiazione neuromotoria nell'arto immobilizzato, che può essere sufficiente a mantenere l'attività corticospinale, minimizzando la perdita di forza e l'atrofia (80). L'allenamento incrociato della forza è stato

recentemente applicato agli studi sull'immobilizzazione, con risultati che suggeriscono che l'allenamento unilaterale dell'arto libero è una tecnica di successo per mantenere la forza e la sezione trasversa dopo brevi periodi di immobilizzazione (80,108). Mentre l'allenamento unilaterale sta ancora per essere testato nel contesto clinico dell'immobilizzazione, le prospettive di miglioramento negli esiti del recupero dopo un trauma muscolo-scheletrico sembrano promettenti.

CAPITOLO TERZO:

LO STUDIO SPERIMENTALE

SCOPO DELLA TESI

Gli studi sullo sviluppo della forza e della potenza muscolare tramite l'allenamento vibratorio presenti in letteratura appaiono eterogenei e diversificati (74,106,113,148,172). Si notano marcate differenze tra i protocolli di indagine e tra i campioni analizzati: i risultati appaiono tra loro discordanti e evidenziano una decisa incertezza riguardo l'effettiva possibilità di applicazione in ambito sportivo e terapeutico (9,18,30,38,47,68,142,148,156). Ciononostante, la maggior parte di queste ricerche concordano nel validare l'efficacia di tale metodica di allenamento come responsabile degli incrementi di forza e potenza muscolare (25,42,145,148,190).

Le principali motivazioni addotte a giustificazione di questi effetti positivi risiedono nel primario adattamento neurogeno (16,68,148,190). Solo secondariamente, come ampiamente riferito, si documentano cambiamenti a livello del tessuto muscolare e di quello osseo (74,113,172).

Similmente a quanto dimostrato per gli effetti delle vibrazioni, anche l'allenamento incrociato della forza, seppur con minori certezze, sembrerebbe essere giustificato dall'iniziale adattamento delle componenti neuromotorie (31,80,101,117). La letteratura scientifica, infatti, ancora non definisce le componenti centrali e periferiche del sistema nervoso come i principali responsabili del trasferimento di forza dall'arto allenato al controlaterale, ma al contempo non ne esclude una possibile compartecipazione con altri fattori

(31,65,80,110,117,126).

Alla luce, dunque, di quanto presente in letteratura è lecito chiedersi se l'unione di queste due metodiche di intervento possa determinare tangibili incrementi di forza e potenza muscolare sia nell'arto allenato che nel controlaterale privo di stimolazioni.

Questa idea, promotrice anche del seguente studio di ricerca, è nata dalla necessità di conoscere gli effetti che le vibrazioni possono determinare sulla componente neurogena dell'arto stimolato e, come conseguenza degli effetti dell'allenamento incrociato, anche sul controlaterale lasciato volontariamente in uno stato di riposo.

I quesiti a cui si è dunque cercato di rispondere sono stati i seguenti:

1. **Ipotesi 1:** *può l'allenamento con whole-body vibrations di un arto determinare incrementi di forza ed equilibrio?*
2. **Ipotesi 2:** *è possibile, per effetto dell'allenamento incrociato determinare degli incrementi di questi parametri anche per l'arto controlaterale non allenato?*

Se le ipotesi di partenza, al termine di questo studio, potessero essere verificate si aprirebbe l'indagine metodica ad un campo di applicazione delle vibrazioni poco conosciuto. Le ricerche scientifiche potrebbero in questo modo utilizzare un ulteriore mezzo, quale quello delle vibrazioni, per chiarire definitivamente i fattori che sono alla base dell'allenamento incrociato. Si potrebbe conoscere, al contrario, quali sono effettivamente le strutture nervose coinvolte primariamente dalle vibrazioni meccaniche a cui è sottoposto il corpo. Infine, le applicazioni

pratiche di quanto ipotizzato, potrebbero fornire nuove metodologie di lavoro a quei soggetti che per motivi più o meno traumatici sono costretti all'immobilizzazione o all'allontanamento dall'attività fisica, con conseguente perdita di forza e potenza che l'assenza di attività determina (31,80,190). Soprattutto in questi ambiti, come già citato in precedenza, una possibile applicazione di quanto ipotizzato potrebbe determinare benefici anche sulla sfera psichica oltre che fisica (190). Come infatti si può dedurre, l'abbinamento dell'allenamento incrociato con quello vibratorio porterebbe a diminuire i tempi di recupero, evitando al soggetto infortunato di dover ricorrere al sollevamento di sovraccarichi elevati in situazioni di ancora non raggiunto controllo corporeo. In questo modo il paziente potrebbe meglio percepire l'efficacia del training di recupero delle proprie funzionalità anche convincendosi di non essere socialmente limitato e sentirsi emarginato (31,80,190).

MATERIALI E METODI

Approccio sperimentale

Lo studio di tipo sperimentale, non-randomizzato, controllato e longitudinale valuta l'efficacia dell'allenamento con Whole Body Vibrations (WBV) sull'arto allenato e come il training sull'arto allenato influisca sul controlaterale non allenato. Gli effetti dell'allenamento sono stati misurati con una batteria di test per valutare forza, potenza muscolare e capacità di equilibrio prima e dopo il periodo di condizionamento.

Il gruppo di controllo è stato individuato nell'arto controlaterale non allenato sulla piattaforma vibrante. I test eseguiti sono stati i seguenti:

- EMG di superficie: attivazione del vasto mediale (VM) e laterale (VL);
- MCV (massima contrazione volontaria): picco di forza, tempo di raggiungimento di picco;
- Test di salto verticale: CMJbl bipodalico e monopodalico per entrambi gli arti;
- Equilibrio: bipodalico e monopodalico per entrambi gli arti;
- Plicometria: sottoscapolare, tricipitale, bicipitale e sovraillaca;
- Circonferenze della coscia: radice, mediana, sovrapatellare, poplitea.

La molteplicità dei parametri analizzati sono da considerarsi come variabili dipendenti dello studio, mentre i fattori tempo e gruppo sono quelle indipendenti.

Soggetti

Per il seguente studio sono stati reclutati 9 soggetti moderatamente allenati di sesso maschile, con età compresa tra 22 e 33 anni (tutti i dati sono riportati come media \pm SD: età: $24 \pm 3,35$ anni; altezza: $1,76 \pm 0,04$ m; peso: $72,22 \pm 6,59$ kg; BMI: $23,25 \pm 1,53$ kg/m²). Tutti i soggetti hanno preso visione del consenso informato e resisi consapevoli dello scopo dello studio e del protocollo di allenamento, hanno deciso di partecipare volontariamente. A ciascun individuo è stato inoltre somministrato un questionario informativo per la raccolta dei dati personali, dell'anamnesi patologica e dell'attività fisico-sportiva praticata. Nessuno dei soggetti partecipanti allo studio ha avuto esperienze pregresse di allenamento vibratorio.

Infine il modello di studio proposto ha ottenuto l'approvazione del Comitato Etico dell'Università degli Studi di Milano.

Subjects	Age (y)	Height (m)	Body mass (kg)	BMI (kg/m ²)
1	23	1,81	76	23,2
2	25	1,75	70	22,9
3	25	1,71	63	21,5
4	25	1,78	80	25,2
5	22	1,75	79	25,8
6	22	1,74	67	22,1
7	33	1,75	66	21,6
8	25	1,74	69	22,8
9	23	1,82	80	24,2
MEAN	24,78	1,76	72,22	23,25
DS	3,35	0,04	6,59	1,53

Tabella 1: Valori antropometrici del campione testato.

Protocollo dello studio

Il protocollo dello studio si è svolto in tre sessioni sperimentali:

1. Sessione basale pre-allenamento
2. Sessione di allenamento
3. Sessione post-allenamento

I soggetti partecipanti allo studio hanno effettuato la batteria di test pre e post¹ ad un periodo di condizionamento con whole-body vibrations di 5 settimane alle quali è seguita una settimana di riposo prima che fosse effettuata la seconda valutazione (post²).

La batteria di test è stata effettuata, sia per la sessione pre che per quelle post allenamento, nell'arco della stessa giornata in condizioni sperimentali di laboratorio.

Nella valutazione preliminare, di ogni soggetto è stata annotata l'ora esatta dell'inizio del primo test, permettendo così di avere nei dati raccolti una effettiva corrispondenza anche delle condizioni fisico-biologiche, escludendo in questo modo possibili artefatti determinati dai ritmi circadiani. La valutazione dei soggetti, infatti, ha rispettato i criteri di uguaglianza tra l'ora di esecuzione dei test pre e di quelli post. Il protocollo di valutazione è stato attuato attraverso la presenza di più operatori, ciascuno dedito ad un specifico test ed ha avuto una durata complessiva di un ora sia nella sessione iniziale che in quella conclusiva.

Protocollo test

Antropometria

Le prime valutazioni condotte sui soggetti dello studio hanno indagato le caratteristiche antropometriche: altezza (m), peso (kg), BMI (kg/m^2), circonferenze della coscia (cm), pliche cutanee (cm). Per reperire queste misure si è ricorso all'utilizzo di: statimetro, bilancia, metro da sarta e plicometro.

Altezza.

La statura o altezza in piedi è un dato antropometrico molto utile e rappresenta, insieme al peso, il parametro standard a cui rapportare altre misure per la valutazione dello stato di nutrizione e lo sviluppo corporeo.

In questo studio tutti i soggetti sono stati valutati attraverso statimetro (o stadiometro) a muro, strumento costituito da un'asta verticale graduata in mm e cm dal basso verso l'alto, con un cursore su cui è inserita, ad angolo retto, la branca mobile, barra orizzontale che va posta a contatto con il punto più alto del capo.

Per la valutazione dell'altezza sono stati rispettati i seguenti criteri:

- soggetti scalzi con talloni e malleoli mantenuti a contatto, punte dei piedi leggermente divaricate, ginocchia tese, braccia pendenti liberamente ai lati del tronco e palmo delle mani rivolto verso le cosce. Il peso equamente distribuito su entrambi i piedi con occipite, scapole, glutei e talloni a contatto

del montante dello stadiometro.

- linea di visione mantenuta secondo il piano di Francoforte (piano che passa tra il forame uditivo ed il margine inferiore dell'orbita), parallelo alla base di appoggio.
- branca mobile che esercita sul capo una pressione sufficiente a comprimere i capelli.

Per garantire la precisione del risultato le rilevazioni sono state eseguite al mattino da due misuratori. Dopo aver eseguito almeno due rilevazioni consecutive, si è considerato valido il dato ottenuto dalla media aritmetica delle misure. In caso queste differissero tra loro più di 4 mm è stata ripetuta la prova.

Peso.

Il peso corporeo, come l'altezza, è uno dei più importanti parametri antropometrici utili per determinare gli stati di salute della struttura fisica della persona. Questo parametro, infatti, può essere estremamente correlato a patologie come ipertensione, aterosclerosi, diabete mellito di tipo II e cachessia. Per questo studio tutti i soggetti sono stati valutati con una bilancia digitale, rispettando i seguenti criteri:

- soggetti a digiuno, scalzi con talloni e malleoli mantenuti a contatto, punte dei piedi leggermente divaricate, ginocchia tese, braccia pendenti liberamente ai lati del tronco e palmo delle mani rivolto verso le cosce;
- il peso equamente distribuito su entrambi i piedi con occipite, scapole, glutei e talloni allineati.

Anche per la determinazione del peso dei soggetti sono state eseguite due rilevazioni entrambe eseguite al mattino da due misuratori differenti.

BMI – Body Mass Index.

L'indice di massa corporea (IMC o BMI) è un dato biometrico, espresso come il rapporto tra peso ed altezza di un individuo ed è utilizzato come un indicatore dello stato di peso-forma. Il BMI è tuttavia alquanto indicativo in quanto non tiene conto dell'influenza di età e sesso, nonché di fattori genetici, alimentazione, condizioni di vita e sanitarie del soggetto analizzato. Operativamente l'indice di massa corporea si calcola come il rapporto tra la massa, espressa in chilogrammi, e il quadrato dell'altezza, espressa in metri:

$$\text{BMI} = \frac{\text{mass}(\text{kg})}{(\text{height}(\text{m}))^2}$$

Per la determinazione dei valori di BMI si è dunque proceduto inserendo nella formula il peso e l'altezza di ogni soggetto.

Circonferenze.

Le circonferenze corporee esprimono le dimensioni trasversali dei vari segmenti del corpo umano. Si tratta di dati antropometrici molto utilizzati nella pratica clinica, tanto che il loro valore, correttamente interpretato secondo gli standard di riferimento, permette di valutare in modo pratico, economico e con una discreta attendibilità, numerosi fattori, tra i quali la crescita di un individuo, la distribuzione del tessuto adiposo sottocutaneo (congiuntamente alle pliche), il

rischio cardiovascolare e lo stato di nutrizione. Affinché il valore misurato sia attendibile è molto importante che l'operatore rilevi le varie circonferenze nel pieno rispetto degli standard antropometrici. Tutti i soggetti sono stati valutati tramite l'utilizzo di un metro da sarta flessibile ed anelastico rispettando le seguenti regole:

- l'estremità del metro corrispondente allo zero nella mano sinistra sovrapposta alla parte restante tenuta nella mano destra;
- il piano del metro perpendicolare all'asse longitudinale della regione corporea misurata evitando di stringere troppo o di mantenerlo eccessivamente allentato;

Per ogni soggetto sono state valutate le 4 circonferenze della coscia:

1. radice;
2. media;
3. sovrapatellare;
4. poplitea.

Le circonferenze sono state rilevate su entrambi gli arti inferiori dallo stesso esaminatore per tre volte considerando la media aritmetica come valore reale.

Pliche.

La plicometria è un tecnica di misurazione del grasso corporeo semplice ed abbastanza economica. Si attua mediante l'utilizzo di uno strumento, chiamato plicometro, ed equazioni predittive che, applicate allo stesso tipo di soggetti, permette di rilevare primariamente lo spessore delle pliche cutanee e

secondariamente la percentuale della massa grassa dei soggetti analizzati. Tale metodica si basa sul presupposto che lo spessore del tessuto adiposo sottocutaneo sia proporzionale al grasso corporeo totale e che le posizioni scelte siano rappresentative dello spessore medio del tessuto adiposo sottocutaneo. Utilizzata da un operatore esperto, il dato plicometrico risulta decisamente utile, soprattutto per seguire nel tempo le variazioni del rapporto massa grassa/massa magra nell'atleta. Per lo studio in oggetto abbiamo raccolto le misure delle seguenti pliche cutanee:

1. sottoscapolare;
2. sovrailiaca;
3. bicipitale;
4. tricipitale.

Per ogni plica sono state raccolte contestualmente tre misurazioni, sulle quali è stato successivamente calcolato il valore medio. Tutte le valutazioni sono state eseguite dallo stesso operatore con un plicometro Holtain 50 mm, rispettando queste regole:

- marcamento del sito di rilevazione con lapis dermatografico;
- calibro nella mano destra e plica tra pollice e indice della mano sinistra cercando di scollare il tessuto muscolare sottostante. Mantenendo sempre la plica fra le dita, effettuare la lettura dopo 2 secondi;
- ripetizione della misura dopo almeno 2 minuti di intervallo per permettere alla plica di tornare nella forma in-compressa.

Elettromiografia di superficie

L'elettromiografia (EMG) è una delle metodiche neurofisiologiche che vengono utilizzate per studiare il sistema nervoso periferico dal punto di vista funzionale. Rappresenta un metodo affidabile in grado di dare informazioni sulla funzionalità dei nervi periferici e dei muscoli scheletrici. In particolare l'elettromiografia di superficie o rilevazione mioelettrica di superficie (SEMG) è quella pratica che permette di rilevare la corrente prodotta dalla muscolatura e trasmessa sulla superficie della pelle. Questa rilevazione ci dà la possibilità di fare una valutazione obiettiva sullo stato di salute della muscolatura, del nervo e delle componenti neuro-muscolari centrali come midollo spinale, corteccia motoria e vie periferiche. Questa metodica si avvale di elettrodi di superficie monouso, che registrano l'attività delle fibre muscolari in diverse condizioni: a riposo, durante una contrazione volontaria progressiva fino al massimo sforzo, e durante una contrazione media sostenuta. In questo modo risulta possibile studiare il tipo di reclutamento muscolare, la morfologia dei potenziali di unità motoria e la presenza o meno di attività elettrica spontanea in condizioni di riposo.

Per il seguente studio di ricerca l'indagine elettromiografica, condotta con strumentazione MuscleLab™ 4020E (Bioscosystem, Rieti - Italy), ha analizzato l'attivazione dei vasti del quadricipite femorale. In particolar modo è stata osservata l'attività elettrica del vasto mediale (VM) e laterale (VL) di entrambi gli arti inferiori dei soggetti durante test di contrazione massima volontaria (MVC)

con cella di carico alla macchina leg-extension.

Per ogni soggetto sono state effettuate tre prove per ogni arto rispettando i criteri seguenti:

- preventiva depilazione e detersione della cute con crema abrasiva ed alcool denaturato;
- elettrodi monouso posizionati sulla porzione mediale del vasto mediale e laterale;
- posizione seduta con angolo al ginocchio fissato a 90°;

La scelta dell'angolo al ginocchio fissato a 90° trova riscontro dalla necessità di mantenere una corrispondenza tra l'angolo testato nel test di forza isometrica e quello allenato durante la sperimentazione. Studi in letteratura riportano, infatti, come la massima contrazione volontaria isometrica sia angolo-specifica, ovvero strettamente correlata all'angolo di estrinsecazione della forza. Pertanto per ottenere la massima corrispondenza tra i valori verificati pre e post allenamento si è scelto di eseguire i test e l'allenamento sulla pedana vibrante con la stessa apertura dell'angolo al ginocchio.

Determinazione frequenza ottimale per il training vibratorio.

Con lo scopo di standardizzare il training specifico su pedana vibrante, per ogni soggetto è stata effettuata una prova zero su pedana vibrante. Nell'arco di questa prova il soggetto, sulla pedana vibrante, in posizione di mezzo squat (90°) è stato sottoposto a vibrazioni a frequenza crescente al fine di individuare quale fosse l'arto inferiore dominante e la frequenza di risonanza ottimale della muscolatura, ovvero la frequenza alla quale si verifica la miglior risposta muscolare alle vibrazioni. La frequenza che ha determinato il picco maggiore di attivazione muscolare nei due vasti è stata quindi utilizzata per impostare il training del periodo di condizionamento. Durante la prova zero l'operatore ha incrementato la frequenza vibratoria di 10Hz ogni 5" secondi.

Massima Contrazione Volontaria

Il test di massima forza isometrica è utilizzato in ambito scientifico per determinare le qualità neuromuscolari dei soggetti. Questo test misura la massima contrazione volontaria (MVC) di un gruppo muscolare durante un'azione isometrica anche se la forza è espressa in un movimento che non può riprodurre fedelmente posture e dinamiche del gesto tecnico-atletico. Questo tipo di valutazione, tuttavia, deve considerarsi un indice generale dell'efficienza dell'atleta, anche caratterizzata con scarso potere predittivo sulla capacità prestativa (127). Infatti, come già accennato precedentemente, la letteratura scientifica ha ampiamente dimostrato come gli indici di forza isometrica siano strettamente collegati all'angolo di estrinsecazione della forza (135,192).

Il test di massima forza isometrica è stato eseguito con una cella di carico di tipo "S" su leg extension abbinando i dati raccolti con quelli dell'elettromiografia di superficie (EMGs). I soggetti hanno effettuato tre prove nelle quali eseguivano una contrazione muscolare massimale (massima espressione di forza volontaria) ad angolo articolare fissato a 90° in piena sicurezza. Ad ogni prova è seguito un recupero completo di 5' minuti. Per l'esecuzione di questo test sono state rispettate queste semplici regole:

- soggetto seduto con angolo al bacino ed al ginocchio fissato a 90°;
- tirante della cella di carico collegato al braccio della macchina leg-extension posizionato sul 1/3 distale della tibia;

- braccia del soggetto lungo i fianchi con mani in appoggio sulle maniglie della macchina.

Tutti i soggetti hanno effettuato delle prove nei giorni precedenti al test di forza, al fine di evitare l'alterazione dei dati raccolti in seguito ad una scorretta esecuzione.

Test di salto verticale

Per la valutazione della potenza muscolare espressa in termini di salto verticale, la letteratura riporta diverse tipologie di test (SJ, CMJ, CMJbl) eseguiti con differenti tipologie di strumenti (Kistler Quattro Jump force plate, tappeto a conduttanza di Bosco) (4,120). Per ottenere dei dati confrontabili con quanto riportato dalla letteratura scientifica, si è deciso di ricorrere al salto con contromovimento a braccia libere (CMJbl) e di valutare l'altezza dei salti, espressa in centimetri, attraverso l'utilizzo di un sistema ottico quale Microgate Optojump (Microgate, Bolzano, Italia), strumentazione che rileva elettronicamente i tempi di volo. Oltre all'Optojump in questo studio è stato utilizzato un cronometro al fine di rispettare specifici periodi di recupero tra le esecuzioni dei diversi salti.

La capacità di forza è stata valutata tramite il Counter Movement Jump (CMJ) bipodalico e monopodalico, test correlato con la velocità di sprint, la massima forza espressa al ½ squat (193) e la potenza muscolare (167).

I test di salto verticale sono stati eseguiti seguendo il protocollo del CMJ Test con braccia libere, in due diverse modalità: in appoggio bipodalico, in appoggio monopodalico. Ai soggetti esaminati è stata richiesta l'esecuzione di 4 ripetizioni di salti.

La scelta di ricorrere al CMJ braccia libere risiede nella volontà di non escludere dalla valutazione le capacità coordinative che intervengono nel determinare il risultato del test. In secondo luogo le braccia libere rendono la prova più

facilmente eseguibile anche da soggetti non abituati a questo tipo di gesto tecnico. Infine il CMJbl monopodalico ha valutato:

- la differenza d'espressione di forza fra gli arti inferiori;
- la capacità di esprimere forza in situazione di minor equilibrio;

CMJ bipodalico

Il protocollo del test CMJ bipodalico prevede la partenza dalla posizione eretta in appoggio su entrambi gli arti inferiori e le mani sui fianchi. Da questa posizione, si soggetti sono stati istruiti a piegare velocemente le gambe fino ad un angolo approssimativamente di 90° per poi eseguire un salto verticale raggiungendo l'altezza più alta possibile. Durante la fase di volo non è consentito flettere le ginocchia e la fase di atterraggio deve avvenire nello stesso punto di stacco.

CMJ monopodalico

Il protocollo del test CMJ monopodalico si esegue con le stesse modalità di esecuzione del CMJ bipodalico, ma lo stacco e l'atterraggio sono svolte solo con un arto inferiore.

È stato eseguito anche questo tipo di test perché si ritiene che nell'esecuzione possano incidere significativamente le componenti coordinative e, in un soggetto non-sano, possa servire a discriminare l'arto infortunato da quello sano.

Test di valutazione della capacità di equilibrio

L'equilibrio è una capacità coordinativa speciale definita come l'abilità che permette, attraverso aggiustamenti riflessi, automatizzati o volontari, di mantenere una posizione statica o di eseguire un movimento senza cadere, anticipando o reagendo prontamente ai possibili fattori di squilibrio (50). L'individuo fa ricorso alla capacità di equilibrio in tutte le azioni della vita comune al fine del mantenimento della postura che subisce inevitabili influenze nel comune agire. Nella pratica di attività intense, o discipline sportive, il ricorso alla stabilità diviene marcatamente maggiore, congiuntamente alla richiesta di riequilibrare molto più rapidamente il proprio corpo. In linea più generale si può affermare che un corpo è in una condizione di equilibrio quando la verticale passante per il baricentro cade entro l'area del cosiddetto poligono d'appoggio (141). L'equilibrio può essere statico, dinamico e di volo. Per assolvere al quesito di questo studio, si è indagata nei soggetti testati anche la capacità di equilibrio. Per determinare i possibili miglioramenti ottenuti dopo training con whole-body vibrations è stata utilizzata la pedana basculante Easytech Libra (Easytech, Prato, Italia). È stata indagata contemporaneamente la capacità di equilibrio bipodalico che quello monopodalico di entrambi gli arti attraverso l'esecuzione di 4 prove da 30" secondi ciascuna nel rispetto delle seguenti impostazioni:

- ORIENTAMENTO: frontale;
- PIEDI: bilaterale;
- POSIZIONE: in piedi
- PROFILO: retta
- DIAMETRO: 40 cm
- DIFFICOLTA': 5
- CENTRAGGIO: 0 ($\pm 0,30$)

Inoltre, il protocollo ha previsto l'esecuzione del test in una posizione ben precisa: stazione eretta, sguardo fisso avanti, ginocchia sbloccate ed arti superiori lungo i fianchi, privi di calze e scarpe per evitare scivolamenti. Prima dell'inizio ed al termine di ogni prova del test ad ogni soggetto è stato richiesto di rispettare una posizione di sicurezza in controllo della pedana. Questa situazione prevedeva il mantenimento della stazione eretta con la pedana in appoggio sul lato destro. Una volta dato l'inizio della prova il soggetto raggiungeva una posizione di equilibrio sulla pedana e da qui iniziava la registrazione da parte del software del sistema. Durante l'esecuzione non è stato assolutamente fornito nessun tipo di feedback per evitare perdite di concentrazione e adattamenti in funzione a quello che i soggetti avrebbero potuto vedere o sentire. Infine, è bene ricordare che delle quattro prove eseguite sono state considerate per l'analisi statistica solo le ultime tre scartando la prima considerata conoscitiva.

Materiali

Plicometro Holtain 50 mm.

Il plicometro è uno strumento utilizzato per misurare lo spessore delle pliche cutanee. Le misure fornite dallo strumento, inserite in apposite equazioni, permettono di calcolare indirettamente la percentuale del solo tessuto adiposo sottocutaneo e non di quello viscerale. Lo strumento è costituito da una pinza con una molla calibrata per applicare una pressione costante sulla plica di 10 g/mm²; la misurazione è data in millimetri e, nonostante sia statisticamente soggetto ad errore, lo scarto presente tra la misurazione rilevata e il parametro reale è intorno al 4%. Inoltre, una scarsa esperienza dell'operatore potrebbe comportare una non corretta individuazione dei precisi punti di repere e quindi inficiarne il risultato. In letteratura è stato tuttavia dimostrato come vi sia una sostanziale concordanza tra le misurazioni del grasso sottocutaneo ottenute con il plicometro raffrontate con le stesse ottenute ricorrendo alla tomografia computerizzata (134)



Illustrazione 6

Illustrazione 6: Plicometro Holtain 50 mm

MuscleLab™ 4020E

Il MuscleLab™ 4020E (Boscosystem, Rieti – Italy), è uno strumento di valutazione funzionale capace di rilevare ed amplificare i processi biologici che avvengono durante una contrazione muscolare sia di natura dinamica, isometrica, concentrica ed eccentrica.

Il sistema, certificato elettromedicale, consente di associare in maniera simultanea l'elettromiografia di superficie (rilevata in RMS) a diversi parametri biomeccanici rilevati da più sensori, utili nella valutazione funzionale. La valutazione eseguita con il MuscleLab permette così di rilevare e sviluppare i processi interni neuromuscolari che si presentano durante l'esecuzione di un movimento naturale a "corpo libero" o su macchine guidate, con o senza carico. Tale caratteristica rende lo strumento utile sia in fase riabilitativa che in fase allenante. Il sistema è costituito da un'unità di elaborazione elettronica, un software per PC e una varietà di sensori (6 canali di EMGs, goniometro biassiale, accelerometro, cella di carico ed encoder lineare-dinamometro) per la rilevazione dei parametri biomeccanici a seguito di un movimento naturale. Il MuscleLab e tutti i test integrati nel sistema sono stati validati scientificamente.

ONE LEG WHOLE-BODY VIBRATION EFFECTS ON MUSCULAR STRENGTH AND BALANCE ABILITY:
TRAINED VS UNTRAINED LEG



Illustrazione 7

Illustrazione 7: MuscleLab™ 4020E.

Cella di carico tipologia “S”

La valutazione isometrica richiede l'installazione della cella di carico sull'attrezzo da riabilitazione o da allenamento. Una cella di carico è un componente elettronico (trasduttore) impiegato per misurare una forza applicata su un oggetto tramite la misura di un segnale elettrico che varia a causa della deformazione che tale forza produce sul componente. Questo componente è generalmente costituito da un corpo metallico al quale vengono applicati uno o più estensimetri che leggono la deformazione meccanica del materiale tramite la variazione di resistenza elettrica che tale deformazione causa sul circuito elettrico. Il segnale viene poi eventualmente elaborato mediante un algoritmo per calcolare la forza applicata al trasduttore. La cella di carico utilizzata in questa sperimentazione di tipo “S” con portata massima di 300 kg ha permesso la rilevazione del picco di forza massima e del tempo necessario al suo raggiungimento.

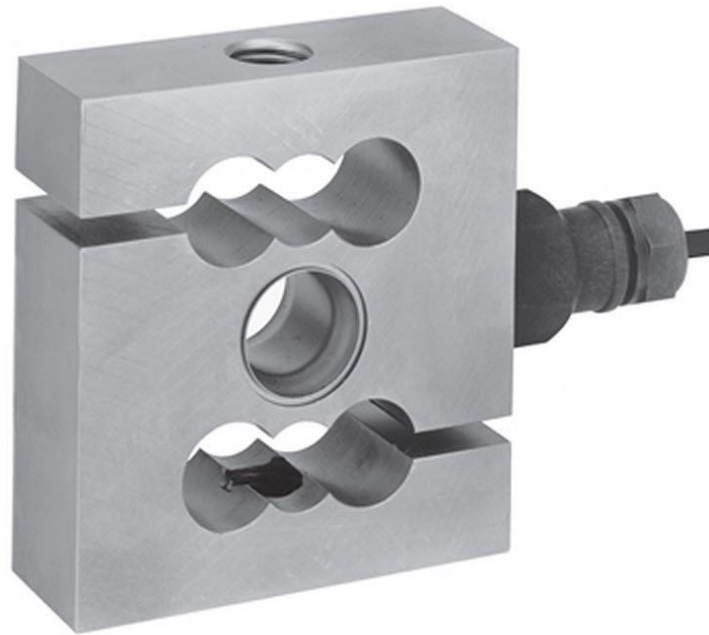


Illustrazione 8

Illustrazione 8: Cella di carico di tipo "S"

Microgate Optojump

Il dispositivo Microgate Optojump è un sistema di rilevamento ottico che permette la misurazione dei tempi di contatto e di volo, con una precisazione di 1/1000 sec. (1 kHz), durante l'esecuzione di uno o più serie di salti. Il kit "metro singolo" è costituito da due barre (ricevitore e trasmettitore: 100 x 4 x 3 cm), poste parallele alla distanza di 1 m. La barra trasmettitrice contiene 32 diodi ad emissione di luce ad alta precisione, distanziati di 3.125 cm, e a 0.3 centimetri dal suolo che rilevano per quanto tempo permane il segnale. Tale strumento si basa, quindi, su un concetto di circuito: quando quest'ultimo è aperto, ovvero tra le barre è interposto un corpo, non viene registrato alcun movimento, invece non appena il corpo si toglie, permettendo la chiusura del circuito, si aziona il cronometro che valuta per quanto tempo tale circuito permane in questa situazione. Il tempo di volo, registrato dal Racetime (strumento portatile che permette di effettuare la valutazione direttamente sul campo) o dal PC, al quale le barre sono collegate, viene riportato in millesimi di secondo associati ad altri dati quali il picco di altezza raggiunto (cm), la potenza espressa ed i tempi di contatto al suolo. L'altezza del salto viene indirettamente stimata tramite la formula $9.81 \times (\text{flight time})^2 / 8$ (18, 63). L'insieme di questi dati fornisce un quadro completo della tipologia di salto effettuata dal soggetto nel test. Se le barre dell'Optojump sono collegate ad un personal computer, il software dedicato (software Optojump, versione 3.01.0001) fornisce la possibilità di registrare le prove effettuate formando un archivio dal quale è possibile esportare i dati

ONE LEG WHOLE-BODY VIBRATION EFFECTS ON MUSCULAR STRENGTH AND BALANCE ABILITY:
TRAINED VS UNTRAINED LEG

necessari in fogli Excell per il successivo trattamento ed analisi.



Illustrazione 9

Illustrazione 9: Microgate Optojump e Racetime

Easytech Libra

Easytech Libra è una pedana basculante elettronica a raggio variabile conforme alla direttiva 93/42/CEE concernente i dispositivi medici attuata dal DL 46 del 14.02.97, utilizzata per valutare le capacità di equilibrio in termini numerici e grafici immediatamente utilizzabili per le valutazioni statistiche. Possiede un'ampia superficie d'appoggio antiscivolo (42x42 cm) e tre diversi raggi di basculamento (5,12,20 cm). La pedana, che pesa 2,7 kg, è dotata di un encoder per la rilevazione della posizione, azionato da una levetta a contatto con il pavimento e collegato ad una scheda elettronica che provvede alla rilevazione dell'angolo del piano della pedana rispetto alla superficie su cui è appoggiata e ad inviare i dati ad un computer tramite porta USB. Il software fornito insieme al device registra gli spostamenti rilevati secondo per secondo ed al termine di ogni singola prova emette un valore empirico che descrive la prestazione. Più questa misura si avvicina allo 0 più il soggetto denota una capacità di equilibrio sviluppata; al contrario quanto più questo valore risulta alto più la prestazione eseguita denota dei deficit motori.

ONE LEG WHOLE-BODY VIBRATION EFFECTS ON MUSCULAR STRENGTH AND BALANCE ABILITY:
TRAINED VS UNTRAINED LEG



Illustrazione 10

Illustrazione 10: Easytech Libra

Nemes Perform

La Nemes (Nemes; Ergotest, Rome, Italy) utilizzata per lo studio è una pedana vibrante che genera oscillazioni sinusoidali verticali. Questa tipologia di strumentazione prevede la possibilità di variare la frequenza di vibrazione in un range compreso tra i 20-55 Hz, mantenendo inalterata la stimolazione meccanica fino ad una portata massima di 140 kg. Superata questa soglia la risposta meccanica della pedana non corrisponde più alla frequenza indicata dal cursore posto sulla centralina di comando come dimostrato in uno studio di Preatoni e collaboratori del 2012.

La pedana vibrante Nemes si compone di una piattaforma (44 x 80 x 23 cm) che monta due motori generanti vibrazioni in senso verticale, e di una console comandi (100 x 33 x 24 cm) sulla quale è possibile impostare la frequenza di lavoro. Nel suo complesso la struttura, composta di acciaio ed alluminio, raggiunge un peso di 100 kg, necessari per prevenire eventuali spostamenti dettati dalla vibrazione stessa. È importante precisare che nello studio in corso non sono state effettuate prove in diversi contesti al fine di standardizzare anche la locazione mantenendo costanti le condizioni ambientali.

ONE LEG WHOLE-BODY VIBRATION EFFECTS ON MUSCULAR STRENGTH AND BALANCE ABILITY:
TRAINED VS UNTRAINED LEG



Illustrazione 11

Illustrazione 11: Nemes perform

Protocollo allenamento

Tutti i soggetti sono stati sottoposti ad un periodo di condizionamento di 5 settimane con due sessioni di allenamento settimanale su pedana vibrante, intervallate da 2 giorni di riposo, per un totale di 10 sedute.

I soggetti si sono allenati su pedana vibrante in posizione di mezzo squat monopodalico (1/2 squat, 90°) isometrico, quindi in appoggio sulla pedana vibrante con l'arto risultato dominante alla valutazione elettromiografia e di misura della MCV.

Durante ogni seduta di allenamento l'operatore ha verificato sia il costante mantenimento dell'angolo al ginocchio a 90° che la corretta posizione delle curve fisiologiche della colonna per evitare la trasmissione delle vibrazioni alle strutture superiori. A tutti i soggetti è stato inoltre richiesto di effettuare le sedute sempre alla stessa ora della giornata e di utilizzare per l'intero periodo di condizionamento lo stesso paio di scarpe onde evitare alterazioni della postura determinando così una mancanza di riproducibilità dell'allenamento stesso.

Ogni seduta di allenamento del periodo di condizionamento ha previsto la somministrazione di 2 serie di whole-body vibrations (WBV) intervallate da 12 minuti di recupero, dopo adeguato riscaldamento. Il numero delle ripetizioni è incrementato sia per quantità che durata nell'arco del training mantenendo invariato il tempo di recupero fissato a 60" secondi. Il riscaldamento proposto ai soggetti dello studio è stato strutturato in due sezioni: una prima composta di esercitazioni consigliate di stretching analitico per gli arti inferiori ed una

seconda obbligatoria con l'esecuzione di alcuni movimenti come le torsioni del busto, degli affondi frontali e dei piegamenti bipodalici sulle gambe.

Il protocollo, di cui in tabella si riporta l'esatta costruzione, è il frutto di un'attenta analisi di lavori presenti in letteratura i quali riportano miglioramenti di forza dopo training con whole-body vibrations (68,74,104,106,113,142,156,172). Fort et al., infatti, in uno studio del 2012 hanno evidenziato miglioramenti di forza e controllo posturale adottando un protocollo incrementale di 15 settimane nel quale non solo è variata la quantità e la durata delle vibrazioni ma anche la tipologia di esercizi proposti e la frequenza alla quale venivano sottoposti i soggetti testati (68). Precedentemente, uno studio del 2006 aveva determinato miglioramenti di forza (in test di salto) con un protocollo incrementale dove la variabile era la durata delle vibrazioni (29). Questi risultati sono stati individuati sia in soggetti allenati, come nel caso degli studi precedenti, che in sedentari ed anziani, come nel caso del lavoro proposto da Machado et coll., che nel 2010 hanno dimostrato come un protocollo di 10 settimane, in cui è aumentata la durata, la quantità e l'intensità delle vibrazioni, possa determinare miglioramenti di forza e controllo posturale anche in donne di età avanzata (116).

ONE LEG WHOLE-BODY VIBRATION EFFECTS ON MUSCULAR STRENGTH AND BALANCE ABILITY:
TRAINED VS UNTRAINED LEG

FASE CENTRALE	SETTIMANA	SEDUTA	1A SERIE		REC.	2A SERIE	
			Rip.	Rec.		Rip.	Rec.
	I	1	4 x 40"	60"	12'	---	---
		2	4 x 40"	60"	12'	2 x 40"	60"
	II	3	4 x 50"	60"	12'	4 x 50"	60"
		4	4 x 50"	60"	12'	4 x 50"	60"
	III	5	5 x 50"	60"	12'	5 x 50"	60"
		6	5 x 50"	60"	12'	5 x 50"	60"
	IV	7	5 x 60"	60"	12'	5 x 60"	60"
		8	5 x 60"	60"	12'	5 x 60"	60"
	V	9	5 x 60"	60"	12'	5 x 60"	60"
		10	5 x 60"	60"	12'	5 x 60"	60"

Illustrazione 12

Illustrazione 12: Programma di allenamento con vibrazioni dello studio.

Al termine del periodo di allenamento per tutti soggetti è stata prevista una settimana di riposo al termine della quale si è proceduto con la riconvocazione per la rivalutazione attraverso gli stessi test eseguiti preliminarmente nella sessione basale pre-allenamento.

Analisi statistica

L'analisi statistica è stata eseguita utilizzando il programma SPSS 15.0 (versione 15.0; SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

Tutti i dati sono mostrati come Media \pm ds (Deviazione Standard).

Per verificare la ripetibilità dei test, è stato utilizzato l'Intraclass Correlation Coefficient (ICC) (8) con i Limiti di Confidenza (CI) al 95% ed il Coefficiente di Variazione (CVs) espresso in percentuale.

Per studiare l'eventuale differenza tra due variabili analizzate, sono stati utilizzati il test di T di Student per dati appaiati e il test di Wilcoxon-Mann-Whitney.

Il livello di significatività è stata settata per $p < 0.05$.

La scelta di utilizzo di questi due test è dovuta alla statistica descrittiva utilizzata che ha determinato campioni parametrici e non parametrici.

Verifica della Ripetibilità

Come già ricordato, la ripetibilità dei test è stata verificata attraverso l'Intraclass Correlation Coefficient (ICC) con i Limiti di Confidenza (CI) al 95% ed il Coefficiente di Variazione (CVs) espresso in percentuale. Dall'analisi della ripetibilità (Tabella 2 e Tabella 3) è possibile dimostrare che i test eseguiti in questo studio risultano avere una ripetibilità accettabile.

ONE LEG WHOLE-BODY VIBRATION EFFECTS ON MUSCULAR STRENGTH AND BALANCE ABILITY:
TRAINED VS UNTRAINED LEG

PRE	ICC (95% CI)	CV (%)
CMJ Bipodalico	0.99 (0.96 - 1.00)	1.3
CMJ Monop. Allenato	0.94 (0.84 - 0.99)	1.4
CMJ Monop. Non allenato	0.92 (0.78 - 0.98)	1.9
Equilibrio Bipodalico	0.62 (0.26 - 0.88)	2.1
Equilibrio Monop. Allenato	0.85 (0.62 - 0.96)	1.5
Equilibrio Monop. Non allenato	0.89 (0.72 - 0.97)	1.8
MVC arto allenato	0.93 (0.73 - 0.98)	39.1
MVC arto non allenato	0.88 (0.55 - 0.97)	50.3
EMG VL arto allenato	0.83 (0.41 - 0.96)	0.1
EMG VL arto non allenato	0.95 (0.78 - 0.99)	0.1
EMG VM arto allenato	0.84 (0.45 - 0.96)	0.1
EMG VM arto non allenato	0.90 (0.62 - 0.98)	0.1

Tabella 2: Valori di ICC (95% CI: 95% Confidence Limits) e di %CV (CV: Coefficient of Variation).

ONE LEG WHOLE-BODY VIBRATION EFFECTS ON MUSCULAR STRENGTH AND BALANCE ABILITY:
TRAINED VS UNTRAINED LEG

POST	ICC (95% CI)	CV (%)
CMJ Bipodalico	0.98 (0.94 - 0.99)	1.5
CMJ Monop. Allenato	0.85 (0.63 - 0.96)	2.1
CMJ Monop. Non allenato	0.97 (0.91 - 0.99)	1.1
Equilibrio Bipodalico	0.80 (0.54 - 0.95)	1.2
Equilibrio Monop. Allenato	0.82 (0.57 - 0.95)	1.1
Equilibrio Monop. Non allenato	0.91 (0.76 - 0.98)	1.2
MVC arto allenato	0.91 (0.71 - 0.98)	46.6
MVC arto non allenato	0.89 (0.68 - 0.97)	45.4
EMG VL arto allenato	0.86 (0.59 - 0.96)	0.1
EMG VL arto non allenato	0.85 (0.58 - 0.96)	0.1
EMG VM arto allenato	0.92 (0.76 - 0.98)	8.9
EMG VM arto non allenato	0.79 (0.45 - 0.95)	0.1

Tabella 3: Valori di ICC (95% CI: 95% Confidence Limits) e di %CV (CV: Coefficient of Variation).

RISULTATI e DISCUSSIONE

Antropometria.

Tutti i dati della presente tesi sono mostrati come Media \pm Deviazione Standard.

Nella seguente tabella sono mostrati i valori antropometrici dei soggetti che hanno partecipato allo studio.

Subjects	Age (y)	Height (m)	Body mass (kg)	BMI (kg/m²)
1	23	1,81	76,0	23,2
2	25	1,75	70,0	22,9
3	25	1,71	63,0	21,5
4	25	1,78	80,0	25,2
5	22	1,75	79,0	25,8
6	22	1,74	67,0	22,1
7	33	1,75	66,0	21,6
8	25	1,74	69,0	22,8
9	23	1,82	80,0	24,2
MEAN	24,78	1,76	72,22	23,25
DS	3,35	0,04	6,59	1,53

Tabella 4: Valori antropometrici del campione testato.

Plicometria.

Analizzando i dati plicometrici raccolti, il gruppo di soggetti ha evidenziato i valori medi riportati in tabella (Tabella 5).

Plica (cm)	Pre	Post	Diff
Sottoscapolare	10,85 ± 4,28	10,48 ± 3,71	- 3,41%
Tricipitale	8,20 ± 3,94	8,28 ± 3,45	0,90%
Bicipitale	5,04 ± 2,74	3,98 ± 1,66	- 20,96%
Sovralliacca	14,78 ± 10,07	13,26 ± 8,62	-10,28%*

Tabella 5: Valori delle pliche pre e post trattamento. I valori sono espressi in cm.

La statistica descrittiva ed il Shapiro-Wilk Normality Test hanno evidenziato che il campione non è parametrico e pertanto i seguenti dati sono stati sottoposti a valutazione con Test di Wilcoxon ponendo il livello di significatività con $p < 0,05$ (Tabella 6).

	p-value	significativo
Sottoscapolare PRE vs POST	0,18289330	no
Tricipitale PRE vs POST	0,83282540	no
Bicipitale PRE vs POST	0,09851136	no
Sovralliacca PRE vs POST	0,04206273	sì

Tabella 6: Riassunto delle significatività riferite all'analisi del campione.

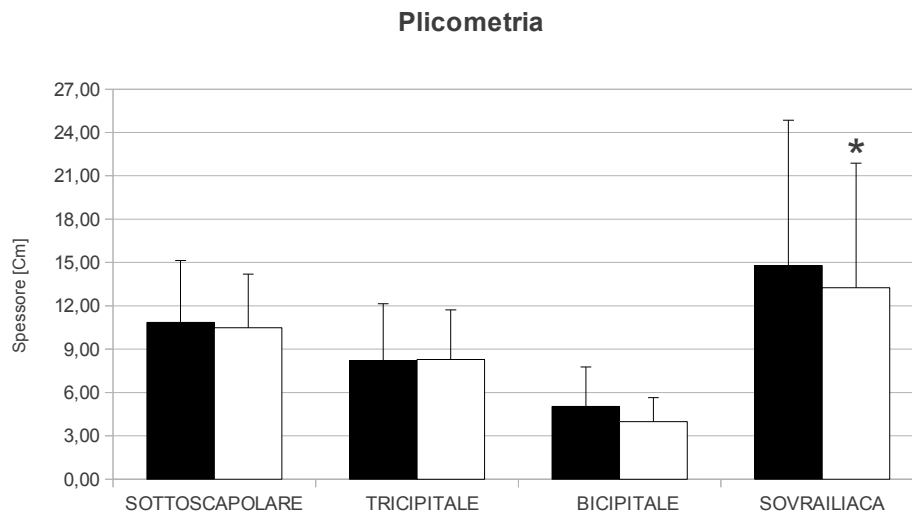


Grafico 1

Grafico 1 Valori delle pliche pre e post trattamento. I valori sono espressi in cm.

Dall'analisi di questi dati è possibile verificare che l'allenamento vibratorio ha determinato una riduzione del grasso corporeo solo nella plica sovrailiaca (Grafico 1). La spiegazione di questo tipo di risultati è legata probabilmente alla posizione specifica utilizzata nel training. La posizione di mezzo squat (90°), infatti, ha imposto ai soggetti un estremo controllo della zona lombosacrale al fine di evitare la trasmissione di vibrazioni alla parte superiore del corpo. È lecito, dunque, pensare che una maggior attivazione della muscolatura deputata al mantenimento della postura possa richiedere maggiori contributi energetici derivanti dai depositi lipidici circostanti. Come lo studio di Wilms et al. del 2012 (191), nel quale si applicavano le vibrazioni ad un gruppo di donne obese, anche i dati di questa ricerca dimostrano che questo protocollo può

determinare una diminuzione delle pliche cutanee e conseguentemente della percentuale di massa grassa. Precedentemente anche Song et al., in uno studio del 2011 (173), aveva riscontrato risultati simili in un campione di anziane obese coreane. Da ciò è possibile concludere che l'allenamento vibratorio, in linea con alcuni studi presenti in letteratura, può determinare una diminuzione del grasso corporeo sottocutaneo (6,173,191).

Circonferenze.

Analizzando le circonferenze dei soggetti, rilevate in entrambi gli arti inferiori pre e post periodo di condizionamento, sono emersi i seguenti risultati.

La prima analisi riguarda le 4 circonferenze della coscia dell'arto allenato (Tabella 7).

Circonferenze (cm)	Pre	Post	Diff
Radice coscia	57,63 ± 4,03	57,76 ± 3,81	0,22%
Mediana coscia	54,57 ± 3,10	56,11 ± 3,43	2,82%**
Sovrapatellare	39,30 ± 2,32	39,09 ± 2,09	-0,52%
Poplitea	37,04 ± 1,63	36,91 ± 1,67	-0,35%

Tabella 7: Valori circonferenze pre e post trattamento. I valori sono espressi in cm.

In questo caso la statistica descrittiva ed il Shapiro-Wilk Normality Test hanno evidenziato che il campione è parametrico e pertanto i seguenti dati sono stati sottoposti a valutazione con Test T di Student per dati appaiati ponendo il livello di significatività con $p < 0,05$ (Tabella 8).

	p-value	significativo
Radice coscia PRE vs POST	0,6950160	no
Mediana coscia PRE vs POST	0,0004792	sì
Sovrapatellare PRE vs POST	0,3484348	no
Poplitea PRE vs POST	0,3129149	no

Tabella 8: Riassunto delle significatività riferite all'analisi del campione.

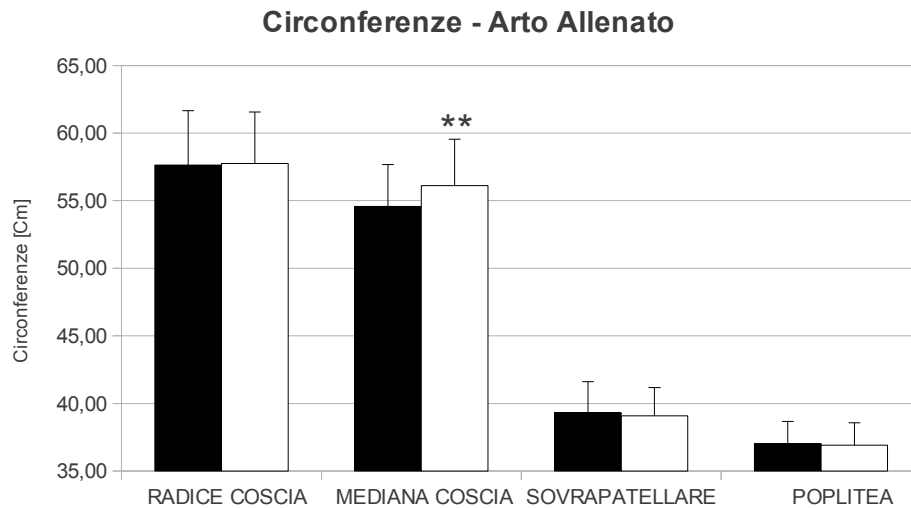


Grafico 2

Grafico 2: Valori circonferenze pre e post trattamento. I valori sono espressi in cm.

È possibile osservare che l'unica differenza significativa è stata individuata a livello della circonferenza mediana ($p < 0,05$) (Grafico 2), mentre per le altre l'allenamento non ha portato ad alcuna modificazione se non ad inattese minime riduzioni, nel caso della circonferenza sovrapatellare e poplitea, e leggeri incrementi per la radice della coscia.

La seconda analisi invece riguarda l'arto non allenato con le vibrazioni del protocollo di ricerca. I dati raccolti delle 4 circonferenze sono riportati in tabella (Tabella 9).

Circonferenze (cm)	Pre	Post	Diff
Radice coscia	58,43 ± 3,33	58,17 ± 3,11	-0,44%
Mediana coscia	54,74 ± 2,65	56,26 ± 3,26	2,70%**
Sovrapatellare	39,30 ± 2,26	39,04 ± 2,07	-0,66%
Poplitea	37,35 ± 1,40	37,26 ± 1,58	-0,25%

Tabella 9: Valori circonferenze pre e post trattamento. I valori sono espressi in cm.

Anche questo caso la statistica descrittiva ed il Shapiro-Wilk Normality Test hanno evidenziato che il campione è parametrico e pertanto i seguenti dati sono stati sottoposti a valutazione con Test T di Student per dati appaiati con il livello di significatività di $p < 0,05$ (Tabella 10).

	p-value	significativo
Radice coscia PRE vs POST	0,26306955	no
Mediana coscia PRE vs POST	0,00060542	sì
Sovrapatellare PRE vs POST	0,20656568	no
Poplitea PRE vs POST	0,32514208	no

Tabella 10: Riassunto delle significatività riferite all'analisi del campione.

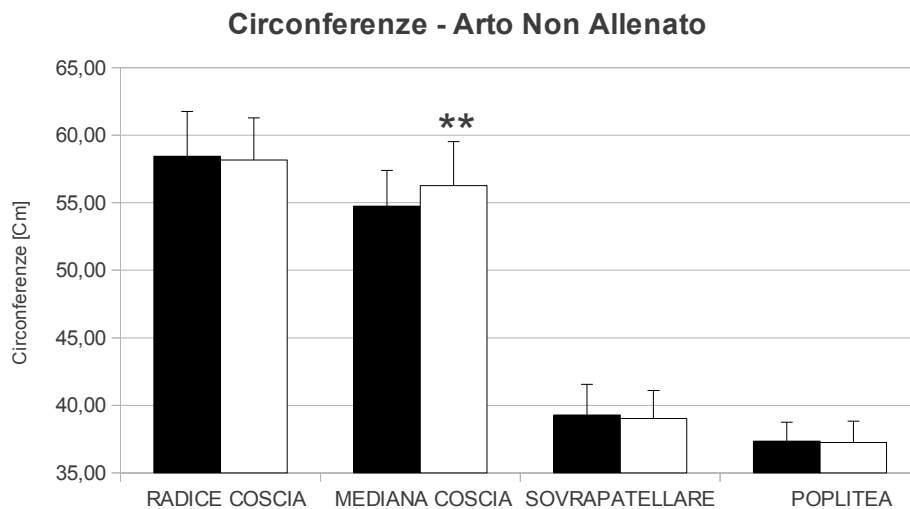


Grafico 3

Grafico 3: Valori circonferenze pre e post trattamento. I valori sono espressi in cm.

Anche per queste rilevazioni è possibile osservare che la circonferenza mediana della coscia presenta degli incrementi post periodo di condizionamento, giustificati dalla analisi statistica che ha determinato valori significativi ($p < 0,05$) (Grafico 3). Le altre circonferenze, invece, sono rimaste praticamente immutate, se non per delle impercettibili riduzioni.

Da questi risultati possiamo dunque concludere che, come dimostrato da Bosco e coll. già nel 1999 (18,19), il protocollo di allenamento con whole-body vibrations è stato in grado di determinare degli incrementi nella massa muscolare, giustificati dall'aumento della circonferenza mediale della coscia nell'arto allenato(5,68,94,113,156). A questo si aggiunge anche l'importante verifica dell'incremento di massa nell'arto controlaterale non allenato. Gli studi sull'allenamento incrociato hanno ampiamente dimostrato come questo possa

demarcare degli adattamenti ipertorfici anche nell'arto non allenato(33,34,63,80,121). Non da ultimo Hendy e coll. (2012) ha evidenziato come lo stesso allenamento incrociato possa contribuire nel ridurre la perdita di massa muscolare in seguito a periodi di immobilizzazione(80). In linea, dunque, con quanto evidenziato dalla letteratura è possibile affermare che le nostre due ipotesi iniziali siano state confermate, almeno per quanto riguarda i dati antropometrici.

Elettromiografia di superficie (EMG).

Vasto Laterale.

L'analisi elettromiografica di superficie ha indagato l'attivazione del vasto mediale e quello laterale. Per ogni registrazione è stato rilevato il valore medio e quello massimo di attivazione e secondariamente è stato calcolato il corrispettivo tempo di raggiungimento del picco. Di seguito sono riportati i valori medi dell'attivazione e del tempo necessario per raggiungere il picco nel vasto laterale (Tabella 11).

Vasto Laterale – valori medi (mV)	Pre	Post	Diff
Allenato	0,43 ± 0,15	0,54 ± 0,23	21,39%*
Non allenato	0,53 ± 0,31	0,45 ± 0,14	-16,11%

Tabella 11: Valori dell'EMG pre e post trattamento. I valori sono espressi in mV.

In questo caso la statistica descrittiva ed il Shapiro-Wilk Normality Test hanno evidenziato che il campione è parametrico per i dati riferiti al gruppo “arto Allenato” mentre è non parametrico per “arto Non allenato”. Pertanto, nel primo caso, i dati sono stati sottoposti a valutazione con Test T di Student per dati appaiati, mentre nel secondo si è ricorsi all'utilizzo del Test di Wilcoxon. Il livello di significatività è comunque stato posto per $p < 0,05$ (Tabella 12).

	p-value	Significativo
Allenato PRE vs POST	0,009668	sì
Non allenato PRE vs POST	0,156757	no

Tabella 12: Riassunto delle significatività riferite all'analisi del campione.

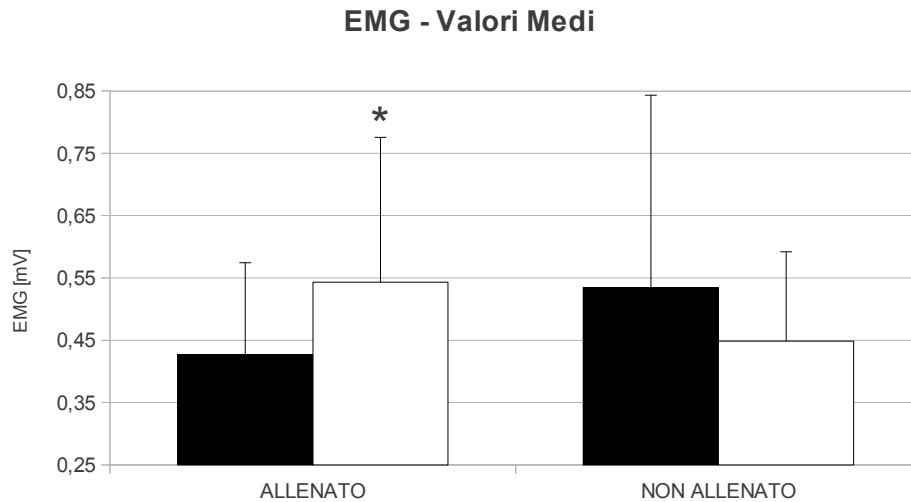


Grafico 4

Grafico 4: Valori dell'EMG pre e post trattamento. I valori sono espressi in mV.

L'analisi condotta sul tempo di raggiungimento del picco di attivazione nel vasto laterale ha portato a questi valori (Tabella 13).

Time to peak – valori medi (s)	Pre	Post	Diff
Allenato	4,81 ± 0,87	4,26 ± 0,59	-13,02%*
Non allenato	4,13 ± 1,07	4,21 ± 0,72	2,03%

Tabella 13: Time to peak pre e post trattamento. I valori sono espressi in sec.

In questo caso la statistica descrittiva ed il Shapiro-Wilk Normality Test hanno evidenziato che il campione è parametrico per entrambi i gruppi e pertanto i seguenti dati sono stati sottoposti a valutazione con Test T di Student per dati appaiati ponendo il livello di significatività con $p < 0,05$ (Tabella 14).

ONE LEG WHOLE-BODY VIBRATION EFFECTS ON MUSCULAR STRENGTH AND BALANCE ABILITY:
TRAINED VS UNTRAINED LEG

	p-value	significativo
Allenato PRE vs POST	0,009188	sì
Non allenato PRE vs POST	0,827487	no

Tabella 14: Riassunto delle significatività riferite all'analisi del campione.

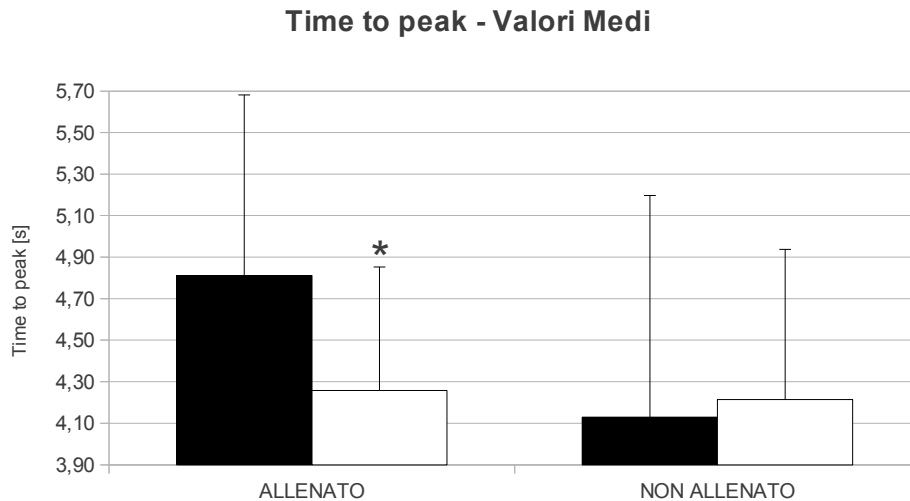


Grafico 5

Grafico 5: Time to peak pre e post trattamento. I valori sono espressi in sec.

Di seguito vengono ora riportati i valori massimi registrati nell'attivazione del vasto laterale.

Per chiarezza espositiva è bene ricordare che i valori espressi in tabella sono sempre riferiti alla media del gruppo dei soggetti testati (Tabella 15).

Vasto laterale – valori max (mV)	Pre	Post	Diff
Allenato	0,48 ± 0,16	0,62 ± 0,29	22,93%*
Non allenato	0,59 ± 0,34	0,50 ± 0,17	-14,20%

Tabella 15: Valori dell'EMG pre e post trattamento. I valori sono espressi in mV.

Anche per i valori massimi la statistica descrittiva ed il Shapiro-Wilk Normality Test hanno evidenziato che il campione è parametrico per i dati riferiti al gruppo “arto Allenato” mentre è non parametrico per “arto Non allenato”. Pertanto, nel primo caso, i dati sono stati sottoposti a valutazione con Test T di Student per dati appaiati, mentre nel secondo si è ricorsi all'utilizzo del Test di Wilcoxon. Il livello di significatività è comunque stato posto per $p < 0,05$ (Tabella 16).

	p-value	significativo
Allenato PRE vs POST	0,031612	sì
Non allenato PRE vs POST	0,220604	no

Tabella 16: Riassunto delle significatività riferite all'analisi del campione.

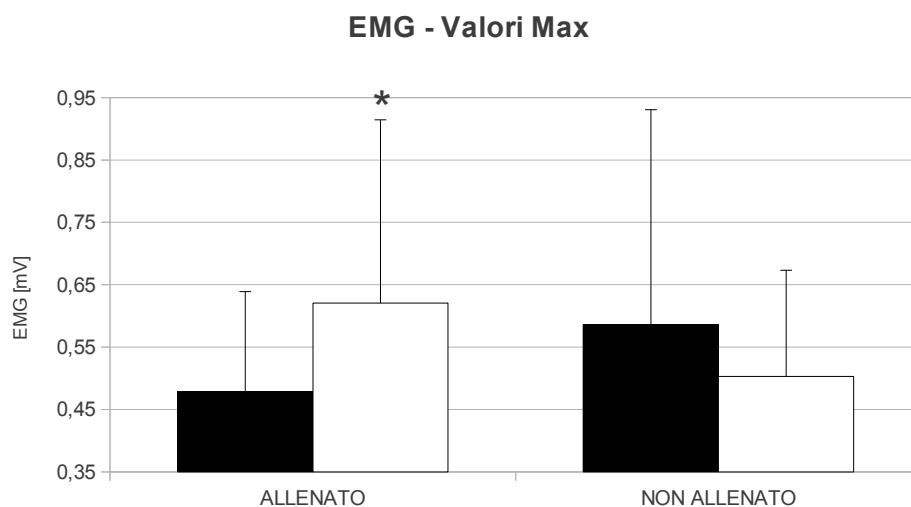


Grafico 6

Grafico 6: Valori dell'EMG pre e post trattamento. I valori sono espressi in mV.

L'analisi condotta sul tempo di raggiungimento del picco di attivazione nel vasto laterale ha, invece, portato a questi valori (Tabella 17).

ONE LEG WHOLE-BODY VIBRATION EFFECTS ON MUSCULAR STRENGTH AND BALANCE ABILITY:
TRAINED VS UNTRAINED LEG

Time to peak – valori max (s)	Pre	Post	Diff
Allenato	5,49 ± 0,77	4,98 ± 0,72	-10,20%*
Non allenato	4,89 ± 1,33	4,86 ± 0,73	-0,70%

Tabella 17: Time to peak pre e post trattamento. I valori sono espressi in sec.

In questo caso la statistica descrittiva ed il Shapiro-Wilk Normality Test hanno evidenziato che il campione è parametrico per entrambi i gruppi e pertanto i seguenti dati sono stati sottoposti a valutazione con Test T di Student per dati appaiati ponendo il livello di significatività con $p < 0,05$ (Tabella 18).

	p-value	significativo
Allenato PRE vs POST	0,018780	sì
Non allenato PRE vs POST	0,945288	no

Tabella 18: Riassunto delle significatività riferite all'analisi del campione.

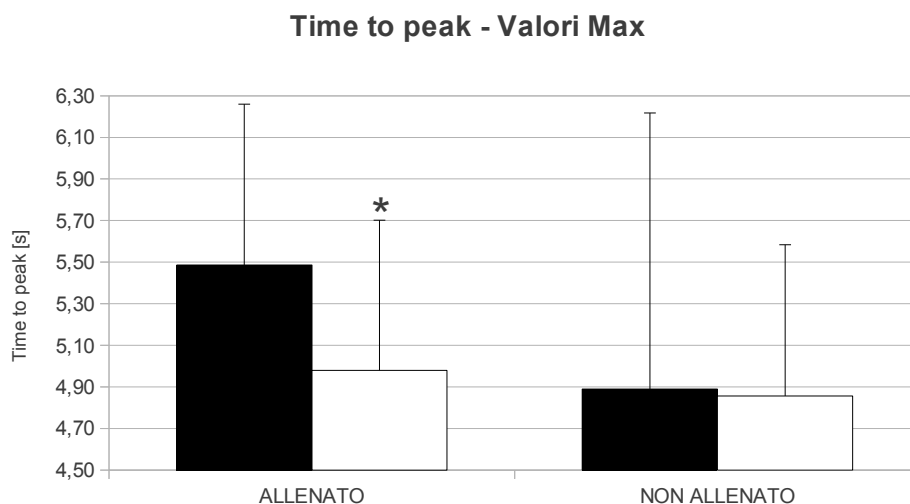


Grafico 7

Grafico 7: Time to peak pre e post trattamento. I valori sono espressi in sec.

Vasto Mediale.

Lo stessa tipologia di indagine è stata condotta sul vasto mediale. Come effettuato precedentemente, si esporranno primariamente i valori medi riferiti all'attivazione del seguente muscolo ed al tempo di raggiungimento del picco. Più precisamente l'elettromiografia di superficie del vasto mediale ha registrato i seguenti valori (Tabella 19).

Vasto mediale – valori medi (mV)	Pre	Post	Diff
Allenato	0,36 ± 0,13	0,36 ± 0,14	-0,87%
Non allenato	0,32 ± 0,06	0,33 ± 0,10	3,39%

Tabella 19: Valori dell'EMG pre e post trattamento. I valori sono espressi in mV.

Come per il vasto laterale, la statistica descrittiva ed il Shapiro-Wilk Normality Test hanno evidenziato che il campione non è parametrico per i dati riferiti al gruppo “arto Allenato” mentre è parametrico per “arto Non allenato”. Pertanto, nel primo caso, i dati sono stati sottoposti a valutazione con Test di Wilcoxon, mentre nel secondo si è ricorsi all'utilizzo del Test T di Student per dati appaiati. Il livello di significatività è comunque stato posto per $p < 0,05$ (Tabella 20).

	p-value	significativo
Allenato PRE vs POST	0,179883	no
Non allenato PRE vs POST	0,627829	no

Tabella 20: Riassunto delle significatività riferite all'analisi del campione.

ONE LEG WHOLE-BODY VIBRATION EFFECTS ON MUSCULAR STRENGTH AND BALANCE ABILITY:
TRAINED VS UNTRAINED LEG

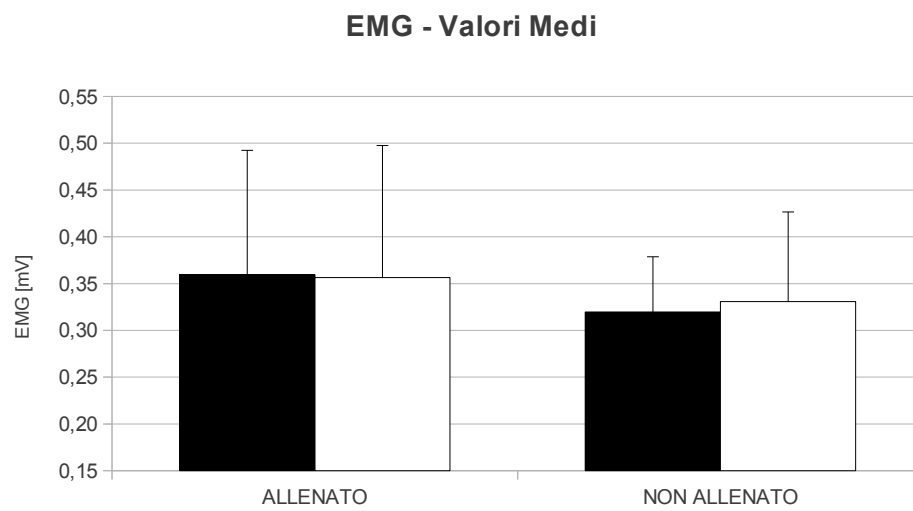


Grafico 8

Grafico 8: Valori dell'EMG pre e post trattamento. I valori sono espressi in mV.

L'analisi condotta sul tempo di raggiungimento del picco di attivazione nel vasto mediale ha, invece, portato a questi valori (Tabella 21).

Time to peak – valori medi (s)	Pre	Post	Diff
Allenato	4,14 ± 1,23	4,61 ± 0,81	11,27%
Non allenato	4,46 ± 1,01	4,40 ± 0,62	-1,25%

Tabella 21: Time to peak pre e post trattamento. I valori sono espressi in sec.

In questo caso la statistica descrittiva ed il Shapiro-Wilk Normality Test hanno evidenziato che il campione è parametrico per entrambi i gruppi e pertanto i seguenti dati sono stati sottoposti a valutazione con Test T di Student per dati appaiati ponendo il livello di significatività con $p < 0,05$ (Tabella 22).

	p-value	significativo
Allenato PRE vs POST	0,164789	no
Non allenato PRE vs POST	0,907258	no

Tabella 22: Riassunto delle significatività riferite all'analisi del campione.

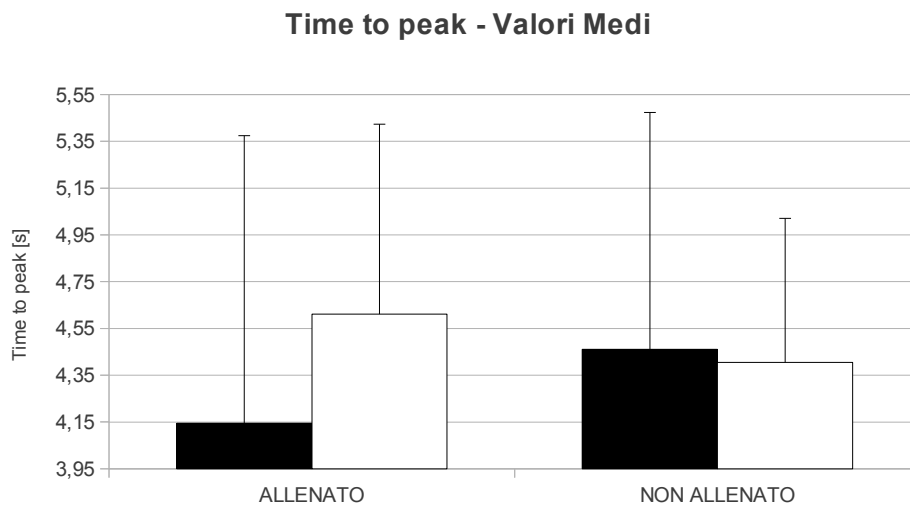


Grafico 9

Grafico 9: Time to peak pre e post trattamento. I valori sono espressi in sec.

Secondariamente è stata condotta l'analisi prendendo in considerazione i valori migliori espressi nelle tre prove nel quale è stata registrata l'attivazione muscolare del vasto mediale registrata a livello superficiale dall'elettromiografo. Più precisamente i valori registrati sono stati i seguenti (Tabella 23).

Vasto mediale – valori max (mV)	Pre	Post	Diff
Allenato	0,42 ± 0,18	0,40 ± 0,17	-5,08%
Non allenato	0,33 ± 0,06	0,37 ± 0,11	8,57%

Tabella 23: Valori dell'EMG pre e post trattamento. I valori sono espressi in mV.

Anche in questo caso, la statistica descrittiva ed il Shapiro-Wilk Normality Test hanno evidenziato che il campione non è parametrico per i dati riferiti al gruppo “arto Allenato” mentre è parametrico per “arto Non allenato”. Pertanto, nel primo caso, i dati sono stati sottoposti a valutazione con Test di Wilcoxon, mentre nel secondo si è ricorsi all'utilizzo del Test T di Student per dati appaiati. Il livello di

significatività è comunque stato posto per $p < 0,05$ (Tabella 24).

	p-value	significativo
Allenato PRE vs POST	0,116976	no
Non allenato PRE vs POST	0,347082	no

Tabella 24: Riassunto delle significatività riferite all'analisi del campione.

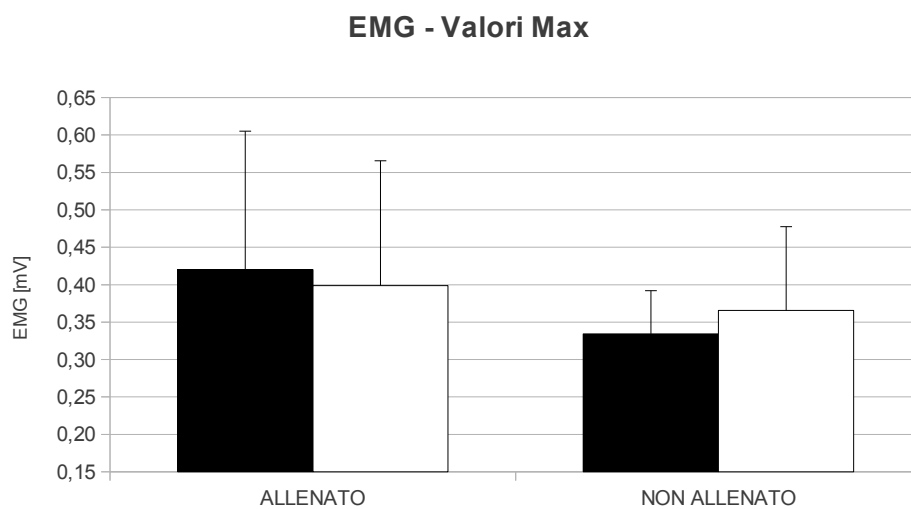


Grafico 10

Grafico 10: Valori dell'EMG pre e post trattamento. I valori sono espressi in mV.

Anche per i valori massimi è stata condotta l'analisi sul tempo di raggiungimento del picco di attivazione che nel vasto mediale ha portato a questi valori (Tabella 25).

Time to peak – valori max (s)	Pre	Post	Diff
Allenato	4,76 ± 1,35	5,31 ± 0,91	11,41%
Non allenato	5,08 ± 1,24	5,26 ± 1,06	3,70%

Tabella 25: Time to peak pre e post trattamento. I valori sono espressi in sec.

In questo caso la statistica descrittiva ed il Shapiro-Wilk Normality Test hanno evidenziato che il campione è parametrico per entrambi i gruppi e pertanto i seguenti dati sono stati sottoposti a valutazione con Test T di Student per dati appaiati ponendo il livello di significatività con $p < 0,05$ (Tabella 26).

	p-value	significativo
Allenato PRE vs POST	0,210254	no
Non allenato PRE vs POST	0,787577	no

Tabella 26: Riassunto delle significatività riferite all'analisi del campione.

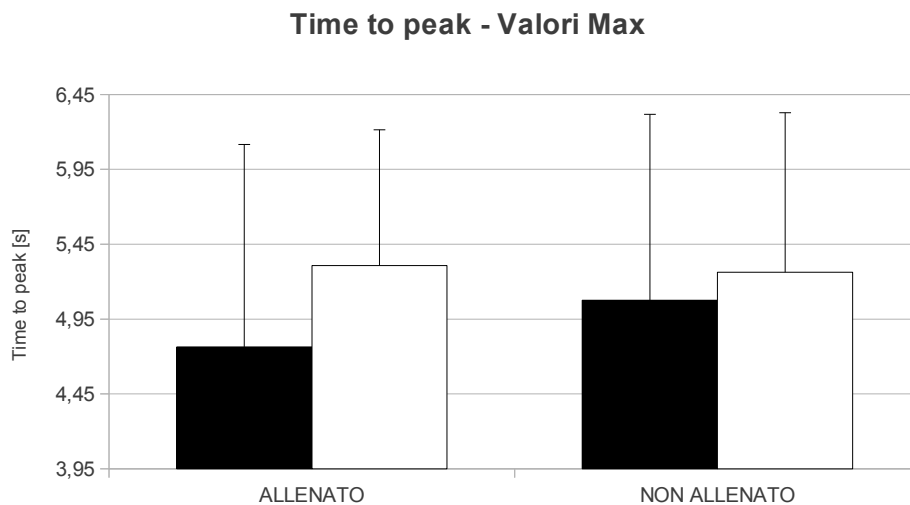


Grafico 11

Grafico 11: Time to peak pre e post trattamento. I valori sono espressi in sec.

L'analisi dei dati elettromiografici rilevati durante questa sperimentazione ha determinato dei valori di difficile interpretazione. Infatti mentre per il vasto laterale, sia i valori medi che quelli massimi, hanno evidenziato un miglioramento nell'attivazione registrata a livello della cute da parte dell'arto allenato, per il vasto mediale i dati non hanno mostrato differenze statisticamente validate. Tuttavia, per una miglior comprensione di quanto rilevato è ben procedere con ordine confrontando passo per passo i dati a disposizione.

Analizzando infatti i valori medi e migliori di massima attivazione muscolare del vasto laterale è bene evidenziare come l'arto sottoposto a vibrazione incrementi i parametri elettromiografici ($p < 0,05$) al contrario di quello non allenato che ha riportato, invece, un trend negativo. Nel vasto mediale questi risultati si

discostano leggermente in quanto tutti i test effettuati evidenziano una mancanza di differenza statistica tra pre e post periodo di condizionamento sia nell'arto non allenato ma soprattutto in quello sottoposto a whole-body vibrations. In particolar modo in questo muscolo anche i trend non evidenziano specifiche differenze. Questa differenza tra i due vasti potrebbe essere giustificata dalla posizione assunta dai soggetti, la quale avrebbe determinato una maggior attivazione del vasto laterale piuttosto che di quello mediale (142). In quest'ottica i risultati potrebbero giustificare la mancanza di miglioramenti in uno dei due vasti, mantenendo però inalterata l'ipotesi dell'effettiva efficacia delle vibrazioni sull'incremento di forza. Difatti il vasto laterale dell'arto allenato risente delle vibrazioni a tal punto che la ripetizione del test a fine periodo di condizionamento evidenzia un netto miglioramento ($p < 0,05$) (29).

Tuttavia gli stessi dati non permettono di asserire, al contrario di quanto avvenuto per le circonferenze, che ci sia stato anche un adattamento efficace all'arto non trattato per effetto dell'allenamento incrociato. In entrambi i vasti, infatti, i trend dei valori medi e migliori denotano un decremento dell'attivazione (vasto laterale) od un sostanziale mantenimento (vasto mediale). Si potrebbe dunque pensare che l'abbinamento delle vibrazioni all'allenamento incrociato non sarebbe in grado di influenzare le componenti elettriche della muscolatura sottoposta a trattamento e di conseguenza di quella controlaterale tenuta a riposo(31,80,108). In altre parole le vibrazioni potrebbero determinare un miglioramento anche nell'arto non allenato, per effetto del transfert, ma solo da un punto di vista miogeno e non neurologico, proprio come riportato da Hendy

et al. (80). Questa ipotesi è supportata anche dai dati relativi al tempo di raggiungimento del picco di attivazione. Infatti, sia per i valori medi che massimi, il vasto laterale ha evidenziato dei miglioramenti, statisticamente validati ($p < 0,05$), visibili in una sensibile diminuzione del tempo necessario per raggiungere il picco. Similmente a quanto detto per l'attivazione, anche in questo tipo di analisi, il vasto mediale non ha definito variazioni essenziali. Ancora una volta potremmo dunque sottolineare come la posizione assunta sulla pedana durante l'allenamento non abbia permesso ai soggetti di attivare il vasto mediale in modo da determinarne un efficace allenamento. Le ipotesi iniziali, come detto precedentemente, non vengono tuttavia entrambe rigettate, in quanto l'allenato migliora dopo trattamento con vibrazione. Proprio come quanto trovato da Bosco et al (1999) (18,19), dunque, è possibile ancora rimarcare l'efficacia delle vibrazioni sui guadagni di forza per effetto di un miglioramento neurale come quello espresso dall'attivazione rilevata attraverso la miografia di superficie.

Alla luce dei dati e delle considerazioni emerse da questo test si potrebbe dunque concludere che l'allenamento vibratorio incide sull'attivazione neurale della muscolatura negli arti trattati, in linea con quanto emerso dagli studi presenti in letteratura (20,25,28,29,42,48,148,149). Al contrario l'assenza di miglioramenti nell'arto non trattato, sottolinea come l'influenza delle vibrazioni sulle componenti motoneuronali dell'allenamento incrociato non comporti effettivi transfert di aumentata attivazione. Le recenti trattazioni scientifiche, infatti, hanno evidenziato come l'intervento delle componenti del sistema

ONE LEG WHOLE-BODY VIBRATION EFFECTS ON MUSCULAR STRENGTH AND BALANCE ABILITY:
TRAINED VS UNTRAINED LEG

nervoso nel trasferire i miglioramenti all'arto immobilizzato non rivesta il ruolo preponderante ma solo quello di effettivo collaboratore(31,34,80,83,95,125).

Massima contrazione volontaria (MVC).

Contemporaneamente alla rilevazione elettromiografica di superficie è stato condotto il test di massima contrazione isometrica volontaria. Di ogni soggetto è stato raccolto il picco di forza isometrica massima ed il tempo necessario per raggiungerlo. Di seguito è riportata l'analisi dei valori medi ottenuti dal gruppo partecipante allo studio (Tabella 27).

MVC – valori medi (N)	Pre	Post	Diff
Allenato	488,74 ± 99,69	536,13 ± 99,48	8,84%*
Non allenato	458,56 ± 93,34	514,94 ± 94,83	10,95%*

Tabella 27: Valori di MVC pre e post trattamento. I valori sono espressi in N.

In questo caso la statistica descrittiva ed il Shapiro-Wilk Normality Test hanno evidenziato che il campione è parametrico per entrambi i gruppi e pertanto i seguenti dati sono stati sottoposti a valutazione con Test T di Student per dati appaiati ponendo il livello di significatività con $p < 0,05$ (Tabella 28).

	p-value	significativo
Allenato PRE vs POST	0,013053	sì
Non allenato PRE vs POST	0,018420	sì

Tabella 28: Riassunto delle significatività riferite all'analisi del campione.

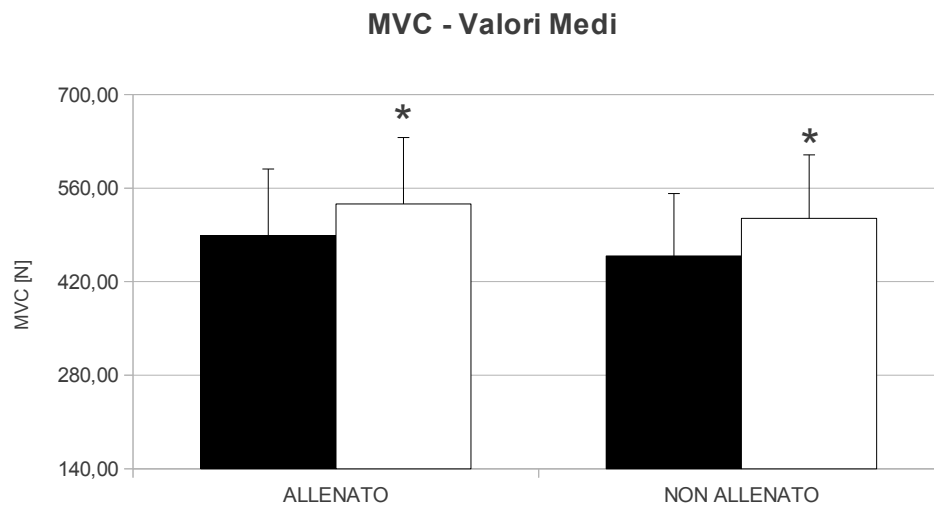


Grafico 12

Grafico 12: Valori di MVC pre e post trattamento. I valori sono espressi in N.

La seconda analisi che si riporta è sui tempi necessari per raggiungere il picco massimo di forza isometrica. Di seguito si riportano i valori medi ottenuti dal gruppo sottoposto al condizionamento con vibrazioni (Tabella 29).

Time to peak – valori medi (s)	Pre	Post	Diff
Allenato	4,18 ± 0,99	4,03 ± 0,78	-3,76%
Non allenato	4,39 ± 0,74	4,07 ± 0,49	-7,92%

Tabella 29: Time to peak pre e post trattamento. I valori sono espressi in sec.

Come per i dati precedenti anche in questo caso la statistica descrittiva ed il Shapiro-Wilk Normality Test hanno evidenziato che il campione è parametrico per entrambi i gruppi e pertanto i seguenti dati sono stati sottoposti a valutazione con Test T di Student per dati appaiati ponendo il livello di significatività con $p < 0,05$ (Tabella 30).

ONE LEG WHOLE-BODY VIBRATION EFFECTS ON MUSCULAR STRENGTH AND BALANCE ABILITY:
TRAINED VS UNTRAINED LEG

	p-value	significativo
Allenato PRE vs POST	0,618635	no
Non allenato PRE vs POST	0,336138	no

Tabella 30: Riassunto delle significatività riferite all'analisi del campione.

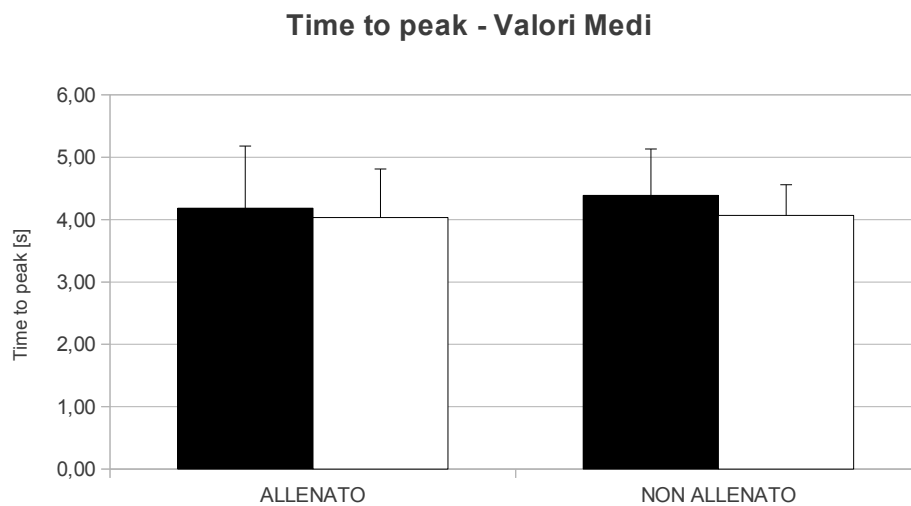


Grafico 13

Grafico 13: Time to peak pre e post trattamento. I valori sono espressi in sec.

La seconda analisi che si riporta riguarda i valori migliori raccolti in ogni prova (Tabella 31).

MVC – valori max (N)	Pre	Post	Diff
Allenato	508,66 ± 90,42	571,54 ± 114,99	11,00%*
Non allenato	483,88 ± 104,01	545,67 ± 104,39	11,32%*

Tabella 31: Valori di MVC pre e post trattamento. I valori sono espressi in N.

In questo caso la statistica descrittiva ed il Shapiro-Wilk Normality Test hanno evidenziato che il campione è parametrico per entrambi i gruppi e pertanto i seguenti dati sono stati sottoposti a valutazione con Test T di Student per dati appaiati ponendo il livello di significatività con $p < 0,05$ (Tabella 32).

	p-value	significativo
Allenato PRE vs POST	0,018660	sì
Non allenato PRE vs POST	0,032285	sì

Tabella 32: Riassunto delle significatività riferite all'analisi del campione.

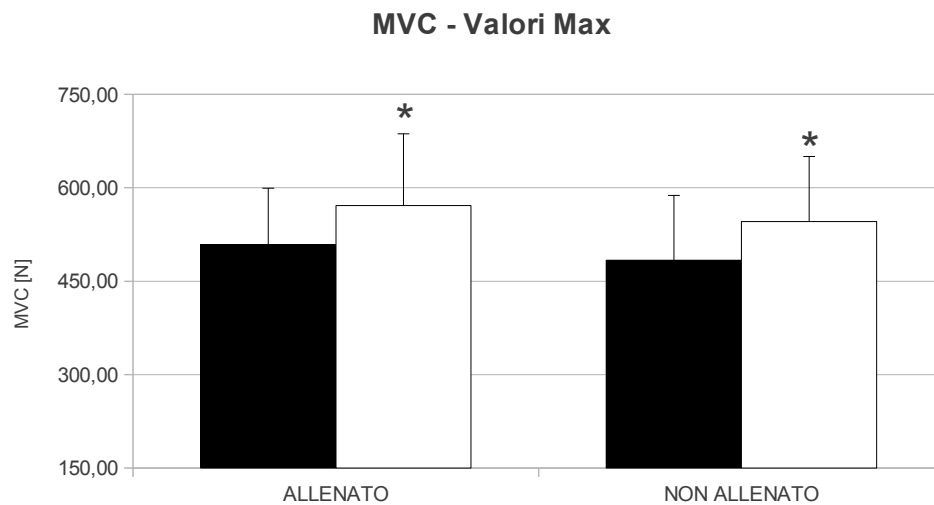


Grafico 14

Grafico 14: Valori di MVC pre e post trattamento. I valori sono espressi in N.

Dopo l'analisi dei valori migliori di forza massima isometrica, si riportano i dati inerenti il tempo necessario per raggiungere il picco di estrinsecazione della forza (Tabella 33).

Time to peak – valori max (s)	Pre	Post	Diff
Allenato	4,76 ± 1,00	4,57 ± 0,98	-4,16%
Non allenato	5,09 ± 0,97	4,74 ± 0,62	-7,43%

Tabella 33: Time to peak pre e post trattamento. I valori sono espressi in sec.

Anche in questo caso la statistica descrittiva ed il Shapiro-Wilk Normality Test hanno evidenziato che il campione è parametrico per entrambi i gruppi e pertanto i seguenti dati sono stati sottoposti a valutazione con Test T di Student per dati appaiati ponendo il livello di significatività con $p < 0,05$ (Tabella 34).

	p-value	significativo
Allenato PRE vs POST	0,585413	no
Non allenato PRE vs POST	0,454133	no

Tabella 34: Riassunto delle significatività riferite all'analisi del campione.

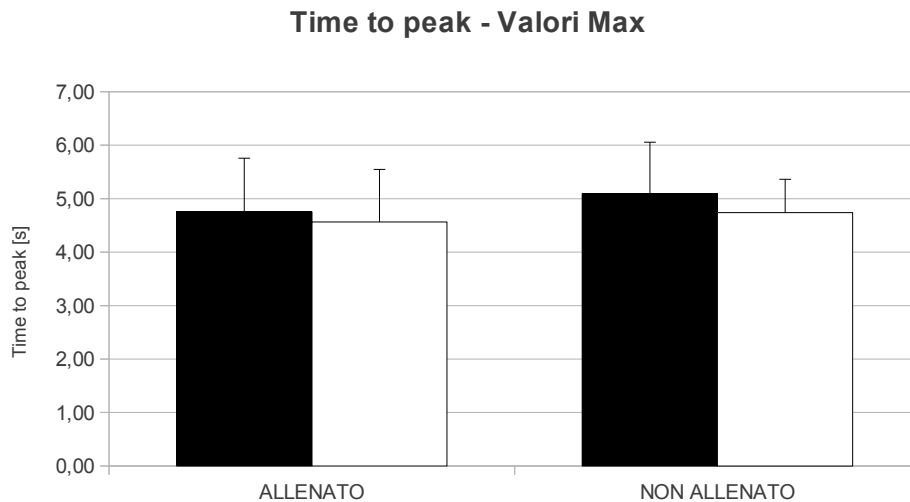


Grafico 15

Grafico 15: Time to peak pre e post trattamento. I valori sono espressi in sec.

Alla luce di questi dati, sia quelli medi che migliori, è possibile supporre che il trattamento con vibrazione al quale sono stati sottoposti i soggetti abbia avuto effetto. Infatti, come si può osservare nell'analisi statistica svolta, è evidente che l'arto allenato ha riportato miglioramenti significativi ($p < 0,05$) dopo il periodo di condizionamento su pedana vibrante (Grafico 12). In linea con gli studi presenti in letteratura nella quale è stato dimostrato che la forza isometrica migliora dopo l'applicazione di vibrazioni, anche questo studio evidenzia come l'arto allenato risenta positivamente dell'allenamento incrementando le prestazioni nel test specifico di massima contrazione isometrica (Grafico 14)

(16,17,42,43,155,156,159,162,181,182). Una possibile spiegazione a questi risultati positivi è da ricercare, come lo è stato per i due test precedenti, negli effetti che le vibrazioni possono provocare (17,29,40,147). Un aumento di forza, infatti, è dimostrato essere provocato dal primario adattamento della sincronizzazione del reclutamento delle fibre (45). In altre parole, le fibre vengono reclutate contemporaneamente generando un più efficace intervento e di conseguenza una migliore espressione in termini di estrinsecazione di forza, nella fattispecie isometrica (15,16,28,29,45,149,153). Come un classico allenamento di forza, dunque, le vibrazioni possono indurre al primario adattamento delle componenti neuromuscolari (142). Benché la letteratura riporta che questi miglioramenti sono accompagnati anche da incrementi nel tempo di reclutamento delle fibre stesse che risulta essere più repentino ed immediato, il seguente studio non può confermare tale ipotesi (17,18,25,43,155,162,182). I dati raccolti, infatti, hanno evidenziato una mancanza, statisticamente validata, di sensibili riduzioni del tempo necessario per raggiungere il picco di forza isometrica.

La seconda ipotesi alla base dello studio era quella di verificare un possibile transfert di forza, per effetto dell'allenamento incrociato, dall'arto sottoposto a vibrazioni al controlaterale non addestrato. I dati raccolti hanno evidenziato un effettivo incremento di forza isometrica anche nell'arto non allenato avvalorando l'ipotesi di partenza. È possibile dunque sostenere che le vibrazioni alla quale sono stati sottoposti i soggetti dello studio, hanno influenzato le componenti muscolari e neuronali dell'arto non trattato e come conseguenza si siano rilevati

dei miglioramenti statisticamente validati ($p < 0,05$) (31,80). In quest'ottica vengono confermate le teorie di molti studi presenti in letteratura che descrivono dei transfert di forza dall'arto allenato al controlaterale dimostrando come questo fenomeno possa aver degli applicativi pratici sia in ambito sportivo che terapeutico nel recupero di infortuni e disagi muscolo-scheletrici (3,31,59,70,80,83).

In conclusione è pertanto possibile confermare le ipotesi iniziali di questo studio secondo le quali il condizionamento con vibrazioni può provocare incrementi di forza e come conseguenza dell'allenamento incrociato trasferire questi miglioramenti all'arto controlaterale (6,31,80,104,108,113,156).

Test di salto verticale.

Lo studio ha poi indagato i possibili incrementi di forza attraverso ulteriori test come quelli di salto verticale, che studi scientifici hanno validato scientificamente (21,187). Pertanto si presentano, ora, i dati inerenti il salto con contromovimento bipodalico e monopodalico dell'arto allenato e non. Per ogni categoria si riporta lo studio sia dei valori medi che di quelli massimi (Tabella 35). La prima analisi riguarda i dati medi ottenuti pre e post periodo di condizionamento.

CMJ – valori medi (cm)	Pre	Post	Diff
Bipodalico	42,74 ± 9,44	45,36 ± 8,48	5,78%*
Allenato	24,10 ± 4,60	25,29 ± 4,34	4,71%*
Non allenato	23,48 ± 5,36	24,77 ± 5,25	5,22%*

Tabella 35: Valori del CMJ pre e post trattamento. I valori sono espressi in cm.

La statistica descrittiva ed il Shapiro-Wilk Normality Test hanno evidenziato che il campione non è parametrico per i dati riferiti al gruppo “arto Allenato” mentre è parametrico per “arto Non allenato” e “Bipodalico”. Pertanto, nel primo caso, i dati sono stati sottoposti a valutazione con Test di Wilcoxon, mentre nel secondo e terzo si è ricorsi all'utilizzo del Test T di Student per dati appaiati. Il livello di significatività è comunque stato posto per tutti i gruppi con $p < 0,05$ (Tabella 36).

	p-value	significativo
Bipodalico PRE vs POST	0,005114	sì
Allenato PRE vs POST	0,003906	sì
Non allenato PRE vs POST	0,014856	sì

Tabella 36: Riassunto delle significatività riferite all'analisi del campione.

ONE LEG WHOLE-BODY VIBRATION EFFECTS ON MUSCULAR STRENGTH AND BALANCE ABILITY:
TRAINED VS UNTRAINED LEG

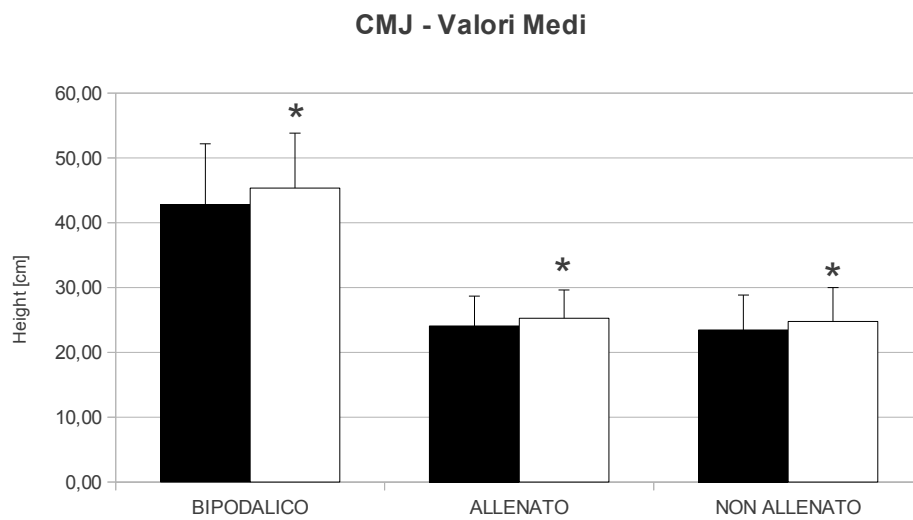


Grafico 16

Grafico 16: Valori del CMJ pre e post trattamento. I valori sono espressi in cm.

Secondariamente l'analisi dei valori massimi ha condotto a questo tipo di risultati (Tabella 37).

CMJ – valori max (cm)	Pre	Post	Diff
Bipodalico	44,92 ± 9,09	46,87 ± 8,36	4,15%*
Allenato	25,54 ± 5,06	27,02 ± 4,69	5,47%*
Non allenato	25,32 ± 5,83	26,03 ± 5,61	2,73%

Tabella 37: Valori del CMJ pre e post trattamento. I valori sono espressi in cm.

Anche in questo caso, la statistica descrittiva ed il Shapiro-Wilk Normality Test hanno evidenziato che il campione non è parametrico per i dati riferiti al gruppo “arto Allenato” mentre è parametrico per “arto Non allenato” e “Bipodalico”. Pertanto, nel primo caso, i dati sono stati sottoposti a valutazione con Test di Wilcoxon, mentre nel secondo e terzo si è ricorsi all'utilizzo del Test T di Student per dati appaiati. Il livello di significatività è comunque stato posto per tutti i gruppi con $p < 0,05$ (Tabella 38).

	p-value	significativo
Bipodalico PRE vs POST	0,028788	sì
Allenato PRE vs POST	0,001953	sì
Non allenato PRE vs POST	0,322223	no

Tabella 38: Riassunto delle significatività riferite all'analisi del campione.

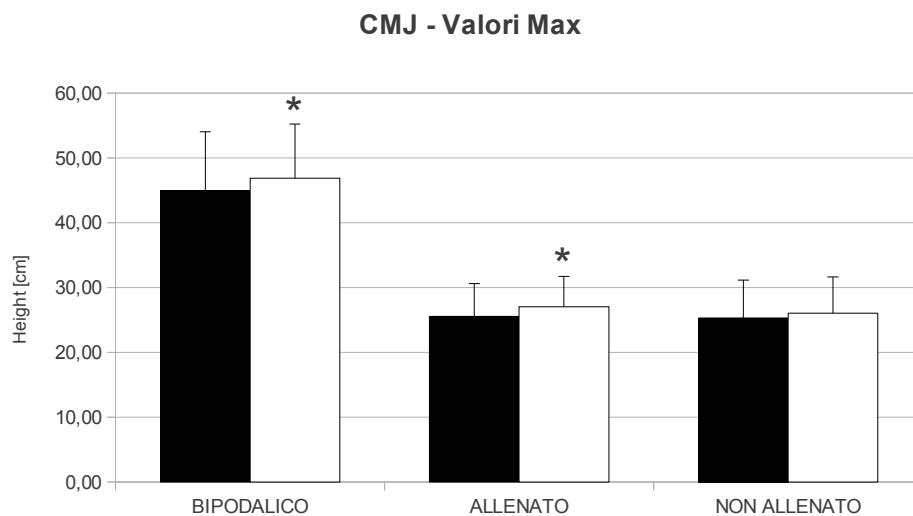


Grafico 17

Grafico 17: Valori del CMJ pre e post trattamento. I valori sono espressi in cm.

Osservando i dati che sono stati raccolti è possibile evidenziare un effettivo miglioramento sia dell'arto allenato ($p < 0,05$) che nel controlaterale ($p < 0,05$) in seguito al periodo di condizionamento su pedana vibrante (Grafico 16). A questo incremento nei due salti monopodalici si affianca anche quello ottenuto nel salto bipodalico ($p < 0,05$). Tuttavia i valori migliori non supportano quanto riscontrato sull'arto non allenato dall'indagine sui corrispettivi risultati medi (Grafico 17). Ciononostante è possibile generalizzare che l'allenamento vibratorio abbia comprovato un indubbio incremento nel salto bipodalico e monopodalico dell'arto allenato. Questa tipologia di risultati è in linea con la letteratura la quale afferma, come detto precedentemente per la massima forza isometrica, che i test di salto sono fortemente influenzati da un periodo di allenamento con vibrazioni (5,6,41,51,68,91,94,156,157,184,194). Questi studi

identificano l'efficacia di questo metodo di allenamento nel primario adattamento degli aspetti neuromuscolari (14,19,25,45,153,182). Difatti, gli incrementi che sono stati riscontrati nelle performance di salto sono strettamente legati a questi aspetti come riportato nella validazione di questi test da Bosco et al. Nel 1983 (21).

Riguardo la seconda ipotesi secondo la quale questi guadagni di forza possano essere trasferiti all'arto non trattato per effetto dell'allenamento incrociato la validità dei risultati non consente una piena approvazione. Infatti, mentre i valori medi permetterebbero di confermare l'ipotesi, i risultati migliori evidenziano un trend positivo non confermato dall'analisi statistica. In quest'ottica, però, è comunque possibile asserire che le vibrazioni abbiano un effetto sulle componenti neuronali responsabili del trasferimento di forza al controlaterale non allenato (31,80). La conferma dell'ipotesi dello studio secondo la quale le vibrazioni possono determinare un effettivo incremento di forza, per effetto dell'allenamento incrociato, anche all'arto non trattato è tuttavia da considerarsi precaria, soprattutto alla luce dei dati raccolti. Questa posizione confermerebbe gli studi presenti in letteratura secondo i quali la determinazione dei fattori responsabili del trasferimento è ancora poco chiara e di conseguenza risulta difficile anche giudicarne l'effettiva applicazione(31,80,83,88,108,117,126).

Test di valutazione della capacità di equilibrio.

L'ultima variabile osservata in questo studio è stata la capacità di equilibrio. Dei soggetti testati su pedana basculante pre e post periodo di condizionamento con vibrazioni whole-body sono stati raccolti i seguenti dati. L'analisi è stata condotta primariamente sui dati medi e solo successivamente considerando anche i migliori. Di seguito si riporta l'analisi dei valori medi (Tabella 39).

Equilibrio – valori medi (u.i.)	Pre	Post	Diff
Bipodalico	8,02 ± 2,28	5,61 ± 2,22	30,07%*
Allenato	6,79 ± 2,94	4,01 ± 2,22	40,86%*
Non allenato	7,69 ± 4,50	5,79 ± 3,26	24,72%

Tabella 39: Valori test di equilibrio pre e post trattamento. I valori sono espressi in u.i.

La statistica descrittiva ed il Shapiro-Wilk Normality Test hanno evidenziato che il campione non è parametrico per i dati riferiti al gruppo “Bipodalico” mentre è parametrico per “arto Allenato” e “arto Non allenato”. Pertanto, nel primo caso, i dati sono stati sottoposti a valutazione con Test di Wilcoxon, mentre nel secondo e terzo si è ricorsi all'utilizzo del Test T di Student per dati appaiati. Il livello di significatività è comunque stato posto per tutti i gruppi con $p < 0,05$ (Tabella 40).

	p-value	significativo
Bipodalico PRE vs POST	0,019531	sì
Allenato PRE vs POST	0,020959	sì
Non allenato PRE vs POST	0,071009	no

Tabella 40: Riassunto delle significatività riferite all'analisi del campione.

ONE LEG WHOLE-BODY VIBRATION EFFECTS ON MUSCULAR STRENGTH AND BALANCE ABILITY:
TRAINED VS UNTRAINED LEG

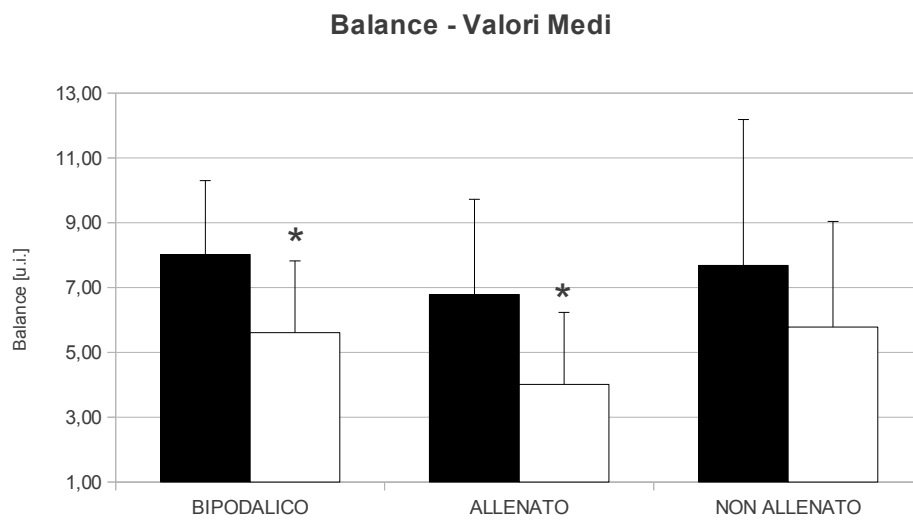


Grafico 18

Grafico 18: Valori test di equilibrio pre e post trattamento. I valori sono espressi in u.i.

Di seguito vengono, invece, riportati i risultati inerenti i valori migliori ottenuti nel test di equilibrio con pedana basculante da parte dei soggetti (Tabella 41).

Equilibrio – valori max (u.i.)	Pre	Post	Diff
Bipodalico	6,72 ± 1,89	4,47 ± 1,71	33,55%*
Allenato	5,34 ± 2,98	3,17 ± 2,21	40,75%*
Non allenato	6,29 ± 4,02	5,06 ± 3,15	19,61%

Tabella 41: Valori test di equilibrio pre e post trattamento. I valori sono espressi in u.i.

La statistica descrittiva ed il Shapiro-Wilk Normality Test hanno evidenziato che il campione è parametrico per i dati riferiti al gruppo “Bipodalico” mentre è non parametrico per “arto Allenato” e “arto Non allenato”. Pertanto, nel primo caso, i dati sono stati sottoposti a valutazione con Test T di Student per dati appaiati, mentre nel secondo e terzo si è ricorsi all'utilizzo del Test di Wilcoxon . Il livello di significatività è comunque stato posto per tutti i gruppi con $p < 0,05$ (Tabella 42).

	p-value	significativo
Bipodalico PRE vs POST	0,003652	sì
Allenato PRE vs POST	0,019531	sì
Non allenato PRE vs POST	0,220434	no

Tabella 42: Riassunto delle significatività riferite all'analisi del campione.

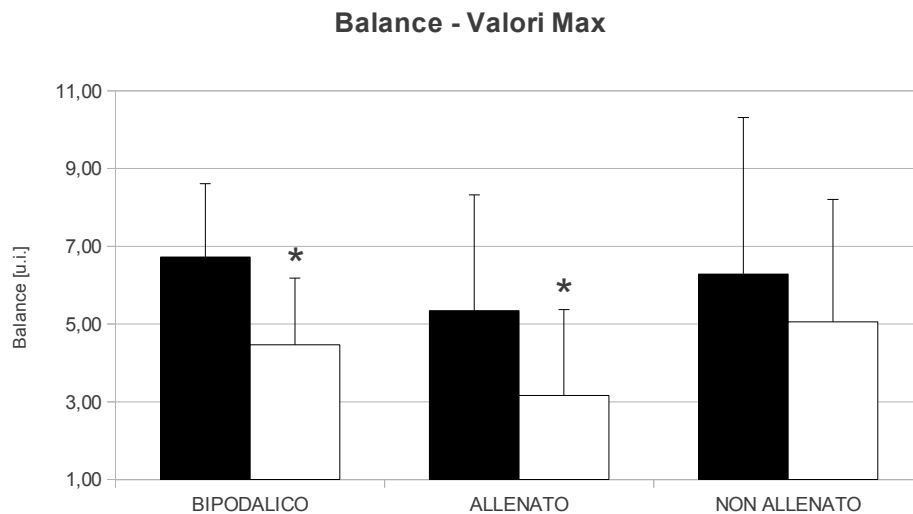


Grafico 19

Grafico 19: Valori test di equilibrio pre e post trattamento. I valori sono espressi in u.i.

La capacità di equilibrio sembra influenzata dall'allenamento vibratorio solo per la posizione bipodale e monopodale sull'arto allenato (Grafico 18). Sia i valori medi che migliori, infatti, evidenziano un effettivo miglioramento nel controllo della pedana basculante nei test al termine del periodo di condizionamento (Grafico 19). Al contrario l'arto non allenato non denota gli stessi incrementi in questa abilità. Ciò che si può dedurre, dunque, è che l'allenamento con vibrazioni possa determinare degli incrementi di forza i quali, in virtù della forte correlazione con la capacità di equilibrio, possono definire incrementi anche in quest'ultima caratteristica (68). L'ipotesi per cui l'allenamento vibratorio possa così provocare adattamenti nelle prestazioni di forza ed equilibrio sembra confermata, in linea con quanto trovato da studi simili presenti in letteratura (9,12,19,23,40,48,68,148). Al contrario, l'idea per cui questi incrementi possano

essere trasferiti all'arto non allenato, non sembra essere altrettanto valida. Le possibili motivazioni che si possono addurre sono ripercorribili negli stessi studi presenti in letteratura secondo i quali i fattori neuromotori, deputati all'equilibrio, non ricoprono il ruolo predominante nel trasferimento al controlaterale non allenato, ma hanno solo una funzione di compartecipazione (31,80,83,102,108,144).

In conclusione, dunque, è possibile affermare che l'allenamento vibratorio sia efficace nel determinare miglioramenti di equilibrio nell'arto allenato (9,12,68) ma non nel controlaterale a riposo (144).

CONCLUSIONI

La risposta dell'organismo alle vibrazioni coinvolge non solo gli aspetti biomeccanici, ma anche processi fisiologici (12,30,32,145,146,148,156,180,191). La letteratura scientifica non solo ha ampiamente spiegato come le vibrazioni raggiungono il corpo e si propagano in esso (16,17,81,169), ma anche definito quali sono gli effetti fisiologici che esse determinano (30,56,91,114,190). È indubbio il ruolo predominante che le vibrazioni ricoprono nella ricerca scientifica sia essa rivolta alle applicazioni in ambito terapeutico che sportivo.

In quest'ottica, i risultati dei numerosi studi condotti hanno delineato un campo di indagine molto vasto per cui, ancora oggi, risulta difficile comprendere se la somministrazione di tale metodica possa determinare reali benefici a chi ne fa ricorso (68,106,113,142). La larga numerosità dei protocolli applicati, l'eterogeneità dei soggetti testati e l'estrema variabilità dei mezzi utilizzati per condurre tali ricerche hanno portato a conclusioni spesso contrastanti (91,133,146,148). Tuttavia una analisi metodologica che mira alla semplificazione ed al confronto, per variabili comuni, dei lavori presenti può portare a delle conclusioni più specifiche riguardo l'efficacia di questa tipologia di allenamento: è necessario conoscere reali benefici e possibili controindicazioni. In quest'ottica d'intervento molti sono i lavori prodotti a sostegno dell'effettiva efficacia sia in ambito terapeutico che sportivo. A suo modo, anche questo studio ha contribuito nel dimostrare come l'esercizio

vibratorio possa risultare una possibile soluzione a diverse problematiche con la quale ogni giorno ci si deve confrontare. Obesità, osteoporosi, distrofia ed atrofia sono malattie tipiche dell'invecchiamento o di particolari disfunzioni dell'organismo contro il quale spesso ci si trova a combattere. Molte sono le alternative cliniche offerte oggi per risolvere questi problemi, tra queste figura anche il trattamento con vibrazioni che recenti studi definiscono non solo come un'ottima cura ma anche una buona abitudine preventiva (38,73,74,145,172). L'ambito terapeutico delle vibrazioni è quindi molto vasto e, sebbene non tutti gli studi condotti in tal senso sono di comune accordo riguardo il loro impiego (106,142), estremamente diffuso (38,106,172,191).

In ambito sportivo il discorso non cambia in quanto è stato più volte provato che le vibrazioni possono determinare dei miglioramenti nelle qualità di forza e potenza. Dai primi lavori di Bosco e collaboratori del non così lontano 1998 (17), le vibrazioni hanno sempre più assunto un ruolo da protagonista trovando più o meno consensi. I risultati positivi ottenuti hanno così spostato l'obiettivo anche su altri campi di applicazione. Ecco dunque spiegata la presenza in letteratura di studi che hanno indagato eventuali effetti benefici dell'allenamento vibratorio su fattori metabolici come il consumo di ossigeno (128,150) e lo smaltimento di cataboliti tipici dell'esercizio fisico (12,191).

In questa visione di apertura del campo di applicazione delle vibrazioni si colloca il presente studio, il quale, consapevole delle importanti considerazioni in merito, ha voluto verificare come tale metodica di lavoro potesse integrarsi con il fenomeno dell'allenamento incrociato. Gli studi condotti hanno dimostrato

che allenamenti classici per lo sviluppo della forza condotti unilateralmente possono provocare adattamenti anche nell'arto controlaterale non addestrato (31,53,62,80,119). I fattori che determinano, tuttavia, il trasferimento di questi adattamenti non sono ancora ben chiari e quindi ben poco ancora si conosce riguardo ciò che sta a monte dei risultati ottenuti (31,80,108,121). L'interesse per le vibrazioni, che come già ampiamente ricordato sono un comprovato metodo di miglioramento della forza, ha condotto alla stesura di un protocollo di ricerca che potesse determinare se questa metodologia di lavoro potesse fornire gli stessi risultati evidenziati da Hendy e collaboratori nell'ultima versione di una review condotta sul tema dell'allenamento incrociato (80).

I risultati che abbiamo precedentemente illustrato hanno sicuramente fornito molti riscontri positivi: l'aumento di determinate circonferenze corporee, la riduzione di grasso sottocutaneo, l'incremento dell'attivazione muscolare, della forza isometrica massima volontaria, della potenza muscolare, valutata con test di salto, ed infine dell'equilibrio sono sicuramente un'ottima dimostrazione di quanto le vibrazioni possano essere utili ed applicabili nell'allenamento e nella cura di malattie degenerative. Dall'analisi dei dati è stato possibile verificare che l'allenamento vibratorio ha determinato una riduzione del grasso corporeo sottocute in particolar modo nella plica sovrailiaca. La posizione specifica di mezzo squat (90°) utilizzata nel training, ha determinato una maggior attivazione della zona lombosacrale dei soggetti inducendo tale muscolatura a richiedere maggiori contributi energetici derivanti dai depositi lipidici circostanti. Come i recenti studi di Song et al. (2011) (173) e Wilms et al. (2012) (191), nel

quale si applicavano le vibrazioni ad soggetti obesi, anche i dati di questa ricerca dimostrano che questo protocollo può determinare una diminuzione delle pliche cutanee e conseguentemente della percentuale di massa grassa. Tuttavia i risultati di questo studio non si sono limitati alla sola analisi delle pliche cutanee, ma si sono bensì estesi anche ai miglioramenti dei parametri di forza e potenza osservabili dagli incrementi di massa e delle prestazioni nei test di contrazione massimale isometrica e di salto. Anche per queste rilevazioni è stato possibile apprezzare dei sensibili miglioramenti: la circonferenza mediana della coscia, ad esempio, ha presentato degli incrementi post periodo di condizionamento, giustificati da valori statistici significativi ($p < 0,05$). Come dimostrato da Bosco e coll. già nel 1999 (18,19), il protocollo di allenamento con whole-body vibrations è stato dunque in grado di determinare degli incrementi nella massa muscolare (5,68,94,113,156). A questo si aggiunge anche l'importante verifica dell'incremento di massa nell'arto controlaterale non allenato a sostegno di quell'ipotesi per cui ci possa essere un transfert per effetto dell'allenamento incrociato (33,34,63,80,121). Non da ultimo Hendy e coll. (2012) ha evidenziato come lo stesso allenamento incrociato possa contribuire nel ridurre la perdita di massa muscolare in seguito a periodi di immobilizzazione(80).

Anche l'analisi elettromiografica ha fornito dei risultati confortanti sebbene la loro interpretazione sia risultata di più difficile comprensione. Infatti le registrazioni di vasto laterale e mediale hanno fornito diversi spunti di riflessione in quanto non unisoni nel asserire l'efficacia dell'allenamento vibratorio. Tuttavia

l'analisi approfondita dei dati raccolti e dei trend di miglioramento osservati al termine di una disamina statistica ha suggerito l'ipotesi che la potenziale discordanza tra quanto rilevato nel vasto laterale ed il mediale sia da attribuire, ancora una volta, alla posizione adottata sulla pedana vibrante durante il periodo di condizionamento. Si è ipotizzato, in linea con altri studi precedenti (37,79,142,193), che la posizione di mezzo squat assunta per l'allenamento abbia determinato una maggior attivazione del vasto laterale rispetto al mediale per il mantenimento di tale postura contro vibrazione portando di conseguenza ad un miglior adattamento del primo muscolo piuttosto che del secondo. È altresì dimostrato che la frequenza di risonanza della muscolatura sottoposta a vibrazioni possa essere influenzata dalla posizione assunta (10,143,155,184). In quest'ottica è lecito supporre che il mezzo squat adottato per lo studio abbia determinato una maggior incidenza sul vasto laterale e di conseguenza abbia determinato questo tipo di risultati, mantenendo però inalterata l'ipotesi dell'effettiva efficacia delle vibrazioni sull'incremento di forza (29). Tuttavia questi stessi dati elettromiografici non hanno permesso di verificare un adattamento efficace all'arto non trattato per effetto dell'allenamento incrociato. In entrambi i vasti, infatti, i trend hanno evidenziato un decremento dell'attivazione (vasto laterale) o, nella migliore delle ipotesi, un sostanziale mantenimento (vasto mediale). Si è dunque portati a pensare che l'abbinamento delle vibrazioni all'allenamento incrociato non sarebbe in grado di influenzare le nervose della muscolatura sottoposta a trattamento e di conseguenza di quella controlaterale tenuta a riposo (31,80,108). In altre parole

le vibrazioni potrebbero determinare un miglioramento anche nell'arto non allenato, per effetto del transfert, ma solo da un punto di vista miogeno e non neurologico, proprio come riportato da Hendy et al. (80). Questa ipotesi è supportata anche dai dati relativi al tempo di raggiungimento del picco di attivazione: il vasto laterale ha ridotto sensibilmente il tempo necessario. Le ipotesi iniziali, come detto precedentemente, non vengono tuttavia entrambe rigettate, in quanto l'allenato migliora dopo trattamento con vibrazione. Proprio come quanto trovato da Bosco et al (1999) (18,19), dunque, è possibile ancora rimarcare l'efficacia delle vibrazioni sui guadagni di forza per effetto di un miglioramento neurale come quello espresso dall'attivazione rilevata attraverso la miografia di superficie.

Alla luce dei dati e delle considerazioni emerse da questo test si potrebbe dunque concludere che l'allenamento vibratorio incide sull'attivazione neurale della muscolatura negli arti trattati (20,25,28,29,42,48,148,149). Al contrario l'assenza di miglioramenti nell'arto non trattato, sottolinea come l'influenza delle vibrazioni sulle componenti motoneuronali dell'allenamento incrociato non comporti effettivi transfert di aumentata attivazione. Le recenti trattazioni scientifiche, infatti, hanno evidenziato come l'intervento delle componenti del sistema nervoso nel trasferire i miglioramenti all'arto immobilizzato non rivesta il ruolo preponderante ma solo quello di effettivo collaboratore (31,34,80,83,95,125).

Ulteriori conferme a questa ipotesi provengono dai dati emersi dal test di massima contrazione isometrica volontaria. Infatti, in questo test si è potuto

osservare sia un effettivo miglioramento dell'arto allenato che del controlaterale al termine del periodo di condizionamento su pedana vibrante. In questo caso i miglioramenti di forza isometrica non sono da attribuire ai soli aspetti miogeni ma soprattutto a quelli neuromuscolari. Il miglioramento dopo l'applicazione di vibrazioni incrementa, dunque, le prestazioni nel test specifico (16,17,42,43,155,156,159,162,181,182) e contemporaneamente permette il transfert di questi adattamenti all'arto non trattato. Una possibile spiegazione a questi risultati positivi è da ricercare, come lo è stato per i due test precedenti, negli effetti che le vibrazioni possono provocare (17,29,40,147): l'aumento di forza è dimostrato essere provocato dal primario adattamento della sincronizzazione del reclutamento delle fibre (45). In altre parole, le fibre vengono reclutate contemporaneamente generando un più efficace intervento e di conseguenza una migliore espressione in termini di estrinsecazione di forza, nella fattispecie isometrica (15,16,28,29,45,149,153). Come un classico allenamento di forza, dunque, le vibrazioni possono indurre al primario adattamento delle componenti neuromuscolari (142). e questi adattamenti possono essere facilmente trasferiti all'arto controlaterale per effetto dell'allenamento incrociato (17,18,25,43,155,162,182). I dati raccolti hanno, dunque, evidenziato un effettivo incremento di forza isometrica anche nell'arto non allenato avvalorando l'ipotesi di partenza. Le vibrazioni alla quale sono stati sottoposti i soggetti dello studio hanno influenzato le componenti muscolari e neuronali dell'arto non trattato (31,80). Dunque vengono confermate le teorie di molti studi presenti in letteratura che descrivono dei transfert di forza dall'arto

allenato al contro laterale, dimostrando come questo fenomeno possa aver degli applicativi pratici sia in ambito sportivo che terapeutico nel recupero di infortuni muscolo-scheletrici (3,31,59,80,83).

Molto spesso però è difficile valutare i soggetti con macchine elettromedicali come l'elettromiografo e la cella di carico. Per questo motivo lo studio ha voluto approfondire la validità delle ipotesi iniziali ricorrendo anche ai più pratici, pur se scientificamente validati, come come il test di salto verticale. Studi presenti in letteratura hanno dimostrato la forte correlazione che intercorre tra l'espressione di forza ed il salto verticale (21). Ecco dunque che osservando i dati raccolti in questo test è stato possibile verificare l'effettivo miglioramento sia dell'arto allenato che del controlaterale in seguito al periodo di condizionamento su pedana vibrante. All'incremento nei due salti eseguiti in forma monopodolica, si affianca anche quello ottenuto nel salto bi podalico, a dimostrazione di come le vibrazioni possano determinare miglioramenti nelle espressioni di forza e potenza muscolare. Questa tipologia di risultati, infine, trova riscontro in molti studi presenti in letteratura i quali affermano, come detto precedentemente, che i test di salto sono fortemente influenzati da un periodo di allenamento con vibrazioni (5,6,41,51,68,91,94,156,157,184,194) e che gli aspetti neuromuscolari ne siano i primi responsabili (14,19,25,45,153,182). È dunque possibile asserire che le vibrazioni abbiano un effetto sulle componenti neuronali responsabili del trasferimento di forza al controlaterale non allenato (31,80). La conferma dell'ipotesi dello studio secondo la quale le vibrazioni possono determinare un effettivo incremento di forza, per effetto

dell'allenamento incrociato, anche all'arto non trattato è tuttavia da considerarsi precaria, soprattutto alla luce dei dati raccolti. Questa posizione confermerebbe gli studi presenti in letteratura secondo i quali la determinazione dei fattori responsabili del trasferimento è ancora poco chiara e di conseguenza risulta difficile anche giudicarne l'effettiva applicazione(31,80,83,88,108,117,126).

In ultimo è stata indagata la relazione tra le vibrazioni e la capacità di equilibrio: quest'ultima sembra esserne influenzata in quanto sia la posizione bipodolica che quella monopodolica sull'arto allenato hanno registrato dei sensibili miglioramenti. I dati raccolti nel test con Libra, infatti, evidenziano un effettivo miglioramento nel controllo della pedana basculante nei test al termine del periodo di condizionamento. Al contrario di quanto però riscontrato in precedenza, l'arto non allenato non denota gli stessi incrementi in questa abilità. Ciò che si è potuto dedurre, dunque, è che l'allenamento con vibrazioni possa determinare degli incrementi di forza i quali, in virtù della forte correlazione con la capacità di equilibrio, possono definire incrementi anche in quest'ultima caratteristica (68). L'ipotesi per cui l'allenamento vibratorio possa così provocare adattamenti nelle prestazioni di forza ed equilibrio sembra confermata (9,12,19,23,40,48,68,148). Al contrario, l'idea per cui questi incrementi possano essere trasferiti all'arto non allenato, non sembra essere altrettanto valida. Le possibili motivazioni alla quale si possono attribuire queste mancanze di effettivi incrementi sono ripercorribili negli stessi studi presenti in letteratura secondo i quali i fattori neuromotori, deputati all'equilibrio, non ricoprono il ruolo predominante nel trasferimento al controlaterale non allenato,

ma hanno solo una funzione di compartecipazione (31,80,83,102,108,144).

A conclusione di questo studio è possibile affermare che l'allenamento vibratorio ha sicuramente un effetto sulle prestazioni di forza e potenza, siano esse valutate con elettromiografia, cella di carico, salto verticale o test di equilibrio. L'ipotesi primaria risulta pertanto completamente validata. Al contrario ancora molto da c'è da chiarire nei confronti del rapporto di questa metodica di lavoro con gli effetti dell'allenamento incrociato. I dati emersi dalla seguente ricerca non determinano affermazioni univoche, bensì lasciano aperto il dibattito riguardo un possibile intervento dei fattori miogeni e soprattutto di quelli neuromuscolari. Studi futuri potrebbero indagare più approfonditamente come le vibrazioni intervengono sui messaggi nervosi e sulla trasduzione del messaggio elettrico in chimico all'interno della placca motrice della muscolatura contribuendo ad una interpretazione più completa sia delle vibrazioni stesse che dell'allenamento incrociato. Molti interrogativi potrebbero, infine, essere risolti da indagini più precise sugli aspetti pratici di tale idea: ad esempio, come si potrebbe applicare l'esercizio vibratorio al fine di ottenere miglioramenti anche nell'arto immobilizzato a seguito di un infortunio?

Altre ricerche si rendono dunque necessarie per tentare di rispondere in forma approfondita e congrua.

BIBLIOGRAFIA

1. Abercromby AFJ, Amonette WE, Layne CS, McFarlin BK, Hinman MR, Paloski WH. Vibration exposure and biodynamic responses during whole-body vibration training. *Medicine and science in sports and exercise* 39: 1794, 2007.
2. Abercromby AFJ, Amonette WE, Layne CS, Mcfarlin BK, Hinman MR, Paloski WH. Variation in Neuromuscular Responses during Acute Whole-Body Vibration Exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 39: 1642–50, 2007.
3. Adamson M, Macquaide N, Helgerud J, Hoff J, Kemi OJ. Unilateral arm strength training improves contralateral peak force and rate of force development. *Eur J Appl Physiol* 103: 553–9, 2008.
4. Aragón LF. Evaluation of Four Vertical Jump Tests: Methodology, Reliability, Validity, and Accuracy. *Measurement in Physical Education and Exercise Science* 4: 215–28, 2000.
5. Armstrong WJ, Grinnell DC, Warren GS. The Acute Effect of Whole-Body Vibration on the Vertical Jump Height. *Journal of Strength and Conditioning Research* 24: 2835–9, 2010.
6. Artero EG, Espada-Fuentes JC, Argüelles-Cienfuegos J, Román A, Gómez-López PJ, Gutiérrez A. Effects of whole-body vibration and

- resistance training on knee extensors muscular performance. *Eur J Appl Physiol* 112: 1371–8, 2012.
7. Atha J, Wheatley DW. Joint mobility changes due to low frequency vibration and stretching exercise. *Br J Sports Med* 10: 26–34, 1976.
 8. Atkinson G, Nevill AM. Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Medicine* 26: 217–38, 1998.
 9. Avelar NCP, Costa SJ, Da Fonseca SF, Tossige-Gomes R, Gripp FJ, Coimbra CC, et al. The effects of passive warm-up vs. Whole-body vibration on high-intensity performance during sprint cycle exercise. *J Strength Cond Res* 26: 2997–3003, 2012.
 10. Berschin G, Sommer H-M. The influence of posture on transmission and absorption of vibration energy in whole body vibration exercise. *Sportverletz Sportschaden* 24: 36–9, 2010.
 11. Blottner D, Salanova M, Püttmann B, Schiffel G, Felsenberg D, Buehring B, et al. Human skeletal muscle structure and function preserved by vibration muscle exercise following 55 days of bed rest. *European journal of applied physiology* 97: 261–71, 2006.
 12. Bogaerts ACG, Delecluse C, Claessens AL, Troosters T, Boonen S, Verschueren SMP. Effects of whole body vibration training on

- cardiorespiratory fitness and muscle strength in older individuals (a 1-year randomised controlled trial). *Age Ageing* 38: 448–54, 2009.
13. Bogaerts A, Verschueren S, Delecluse C, Claessens AL, Boonen S. Effects of whole body vibration training on postural control in older individuals: A 1 year randomized controlled trial. *Gait & posture* 26: 309–16, 2007.
 14. Bosco C. Methods of functional testing during rehabilitation exercises. *Rehabilitation of Sports Injuries: Current Concepts* 11, 2001.
 15. Bosco C. Automatic device for optimized muscular stimulation [Internet]. 2001
 16. Bosco C, Cardinale M, Tsarpela O. Influence of vibration on mechanical power and electromyogram activity in human arm flexor muscles. *European journal of applied physiology and occupational physiology* 79: 306–11, 1999.
 17. Bosco C, Cardinale M, Tsarpela O, Colli R, Tihanyi J, Von Duvillard S, et al. The influence of whole body vibration on the mechanical behaviour of skeletal muscle. *Biol Sport* 153: 157–64, 1998.
 18. Bosco C, Cardinale M, Tsarpela O, Locatelli E. New trends in training science: the use of vibrations for enhancing performance. *New Studies in Athletics* 14: 55–62, 1999.

19. Bosco C, Colli R, Intorini E, Cardinale M, Tsarpela O, Madella A, et al. Adaptive responses of human skeletal muscle to vibration exposure. *Clin Physiol* 19: 183–7, 1999.
20. Bosco C, Iacovelli M, Tsarpela O, Cardinale M, Bonifazi M, Tihanyi J, et al. Hormonal responses to whole-body vibration in men. *European journal of applied physiology* 81: 449–54, 2000.
21. Bosco C, Luhtanen P, Komi PV. A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 50: 273–82, 1983.
22. Bottinelli R. Functional heterogeneity of mammalian single muscle fibres: do myosin isoforms tell the whole story? *Pflugers Arch* 443: 6–17, 2001.
23. Bruyere O, Wuidart M-A, Di Palma E, Gourlay M, Ethgen O, Richy F, et al. Controlled whole body vibration to decrease fall risk and improve health-related quality of life of nursing home residents. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 86: 303–7, 2005.
24. Burke JR, Schutten MC, Kocaja DM, Kamen G. Age-dependent effects of muscle vibration and the Jendrassik maneuver on the patellar tendon reflex response. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 77: 600–4, 1996.
25. Cardinale M, Bosco C. The use of vibration as an exercise intervention.

- Exercise and sport sciences reviews 31: 3–7, 2003.
26. Cardinale M, Ferrari M, Quaresima V. Gastrocnemius medialis and vastus lateralis oxygenation during whole-body vibration exercise. *Med Sci Sports Exerc* 39: 694–700, 2007.
 27. Cardinale M, Leiper J, Farajian P, Heer M. Whole-body vibration can reduce calciuria induced by high protein intakes and may counteract bone resorption: A preliminary study. *Journal of sports sciences* 25: 111–9, 2007.
 28. Cardinale M, Lim J. Electromyography activity of vastus lateralis muscle during whole-body vibrations of different frequencies. *J Strength Cond Res* 17: 621–4, 2003.
 29. Cardinale M, Rittweger J. Vibration exercise makes your muscles and bones stronger: fact or fiction? *J Br Menopause Soc* 12: 12–8, 2006.
 30. Cardinale M, Soiza RL, Leiper JB, Gibson A, Primrose WR. Hormonal responses to a single session of wholebody vibration exercise in older individuals. *British journal of sports medicine* 44: 284–8, 2010.
 31. Carroll TJ, Herbert RD, Munn J, Lee M, Gandevia SC. Contralateral effects of unilateral strength training: evidence and possible mechanisms. *J Appl Physiol* 101: 1514–22, 2006.
 32. Carroll TJ, Herbert RD, Munn J, Lee M, Gandevia SC. Contralateral

- effects of unilateral strength training: evidence and possible mechanisms. *Journal of Applied Physiology* 101: 1514–22, 2006.
33. Carroll TJ, Lee M, Hsu M, Sayde J. Unilateral practice of a ballistic movement causes bilateral increases in performance and corticospinal excitability. *Journal of Applied Physiology* 104: 1656–64, 2008.
 34. Carroll TJ, Selvanayagam VS, Riek S, Semmler JG. Neural adaptations to strength training: Moving beyond transcranial magnetic stimulation and reflex studies. *Acta Physiologica* 202: 119–40, 2011.
 35. Carson RG. Neural pathways mediating bilateral interactions between the upper limbs. *Brain Research Reviews* 49: 641–62, 2005.
 36. Cernacek JMD. Contralateral motor irradiation-cerebral dominance: Its changes in hemiparesis. *Arch Neurol* 4: 165–72, 1961.
 37. Chelly MS, Ghenem MA, Abid K, Hermassi S, Tabka Z, Shephard RJ. Effects of in-season short-term plyometric training program on leg power, jump- and sprint performance of soccer players. *J Strength Cond Res* 24: 2670–6, 2010.
 38. Cheung AM, Giangregorio L. Mechanical stimuli and bone health: what is the evidence? *Curr Opin Rheumatol* 24: 561–6, 2012.
 39. Clark BC, Issac LC, Lane JL, Damron LA, Hoffman RL. Neuromuscular plasticity during and following 3 wk of human forearm cast immobilization.

Journal of Applied Physiology 105: 868–78, 2008.

40. Cochrane DJ, Hawke EJ. Effects of acute upper-body vibration on strength and power variables in climbers. *J Strength Cond Res* 21: 527–31, 2007.
41. Cochrane DJ, Legg SJ, Hooker MJ. The short-term effect of whole-body vibration training on vertical jump, sprint, and agility performance. *Journal of Strength and Conditioning Research* 18: 828–32, 2004.
42. Cochrane DJ, Sartor F, Winwood K, Stannard SR, Narici MV, Rittweger J. A Comparison of the Physiologic Effects of Acute Whole-Body Vibration Exercise in Young and Older People. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 89: 815–21, 2008.
43. Cochrane DJ, Stannard SR. Acute whole body vibration training increases vertical jump and flexibility performance in elite female field hockey players. *British journal of sports medicine* 39: 860–5, 2005.
44. Cochrane DJ, Stannard SR, Sargeant AJ, Rittweger J. The rate of muscle temperature increase during acute whole-body vibration exercise. *Eur J Appl Physiol* 103: 441–8, 2008.
45. Cometti G. Metodi moderni di potenziamento muscolare: aspetti teorici. Calzetti-Mariucci, 1997.
46. Cristiano LM, Schwartzstein RM. Effect of chest wall vibration on dyspnea

- during hypercapnia and exercise in chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med* 155: 1552–9, 1997.
47. Dabbs NC, Muñoz CX, Tran TT, Brown LE, Bottaro M. Effect of different rest intervals after whole-body vibration on vertical jump performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 25: 662, 2011.
 48. Dakota GF. The influence of whole body vibration on jumping performance. *Biology of sport* 15: 157, 1998.
 49. D'Antona G, Pellegrino MA, Adami R, Rossi R, Carlizzi CN, Canepari M, et al. The effect of ageing and immobilization on structure and function of human skeletal muscle fibres. *The Journal of Physiology* 552: 499–511, 2003.
 50. Davlin CD. Dynamic balance in high level athletes. *Percept Mot Skills* 98: 1171–6, 2004.
 51. Delecluse C, Roelants M, Diels R, Koninckx E, Verschueren S. Effects of whole body vibration training on muscle strength and sprint performance in sprint-trained athletes. *Int J Sports Med* 26: 662–8, 2005.
 52. Dettmers C, Ridding MC, Stephan KM, Lemon RN, Rothwell JC, Frackowiak RS. Comparison of regional cerebral blood flow with transcranial magnetic stimulation at different forces. *Journal of Applied Physiology* 81: 596–603, 1996.

53. Dragert K, Zehr EP. Bilateral neuromuscular plasticity from unilateral training of the ankle dorsiflexors. *Experimental brain research* 208: 217–27, 2011.
54. Duchateau J, Hainaut K. Effects of immobilization on contractile properties, recruitment and firing rates of human motor units. *The Journal of physiology* 422: 55–65, 1990.
55. Edge J, Mündel T, Weir K, Cochrane DJ. The effects of acute whole body vibration as a recovery modality following high-intensity interval training in well-trained, middle-aged runners. *Eur J Appl Physiol* 105: 421–8, 2009.
56. Erskine J, Smillie I, Leiper J, Ball D, Cardinale M. Neuromuscular and hormonal responses to a single session of whole body vibration exercise in healthy young men. *Clin Physiol Funct Imaging* 27: 242–8, 2007.
57. Facchini S, Romani M, Tinazzi M, Aglioti SM. Time-related changes of excitability of the human motor system contingent upon immobilisation of the ring and little fingers. *Clinical neurophysiology* 113: 367–75, 2002.
58. Falempin M, In-Albon SF. Influence of brief daily tendon vibration on rat soleus muscle in non-weight-bearing situation. *J Appl Physiol* 87: 3–9, 1999.
59. Farthing JP. Cross-education of strength depends on limb dominance: Implications for theory and application. *Exercise and sport sciences*

reviews 37: 179, 2009.

60. Farthing JP, Borowsky R, Chilibeck PD, Binsted G, Sarty GE. Neuro-physiological adaptations associated with cross-education of strength. *Brain topography* 20: 77–88, 2007.
61. Farthing JP, Chilibeck PD. The effects of eccentric and concentric training at different velocities on muscle hypertrophy. *European journal of applied physiology* 89: 578–86, 2003.
62. Farthing JP, Chilibeck PD, Binsted G. Cross-education of arm muscular strength is unidirectional in right-handed individuals. *Medicine and science in sports and exercise* 37: 1594, 2005.
63. Farthing JP, Krentz JR, Magnus CRA. Strength training the free limb attenuates strength loss during unilateral immobilization. *Journal of Applied Physiology* 106: 830–6, 2009.
64. Fernandez-Rio J, Terrados N, Fernandez-Garcia B, Suman OE. Effects of vibration training on force production in female basketball players. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 24: 1373, 2010.
65. Fimland MS, Helgerud J, Solstad GM, Iversen VM, Leivseth G, Hoff J. Neural adaptations underlying cross-education after unilateral strength training. *Eur J Appl Physiol* 107: 723–30, 2009.
66. Flieger J, Karachalios T, Khaldi L, Raptou P, Lyritis G. Mechanical

- stimulation in the form of vibration prevents postmenopausal bone loss in ovariectomized rats. *Calcified Tissue International* 63: 510–4, 1998.
67. Folland JP, Williams AG. The adaptations to strength training: morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Med* 37: 145–68, 2007.
68. Fort A, Romero D, Bagur C, Guerra M. Effects of whole-body vibration training on explosive strength and postural control in young female athletes. *J Strength Cond Res* 26: 926–36, 2012.
69. Fritton JC, Rubin CT, Qin YX, McLeod KJ. Whole-body vibration in the skeleton: development of a resonance-based testing device. *Annals of biomedical engineering* 25: 831–9, 1997.
70. Gabriel DA, Kamen G, Frost G. Neural adaptations to resistive exercise: mechanisms and recommendations for training practices. *Sports Med* 36: 133–49, 2006.
71. Garfinkel S, Cafarelli E. Relative changes in maximal force, EMG, and muscle cross-sectional area after isometric training. *Medicine and science in sports and exercise* 24: 1220, 1992.
72. Glatthorn JF, Gouge S, Nussbaumer S, Stauffacher S, Impellizzeri FM, Maffiuletti NA. Validity and reliability of Optojump photoelectric cells for estimating vertical jump height. *J Strength Cond Res* 25: 556–60, 2011.

73. Gojanovic B, Gremion G, Waeber B. Whole-body vibration training: fact or fiction? *Rev Med Suisse* 4: 1712–6, 2008.
74. Gómez-Cabello A, Ara I, González-Agüero A, Casajús JA, Vicente-Rodríguez G. Effects of training on bone mass in older adults: a systematic review. *Sports Med* 42: 301–25, 2012.
75. Gusi N, Raimundo A, Leal A. Low-frequency vibratory exercise reduces the risk of bone fracture more than walking: a randomized controlled trial. *BMC Musculoskeletal Disorders* 7: 92, 2006.
76. Hagbarth KE, Eklund G. The muscle vibrator—a useful tool in neurological therapeutic work. *Scandinavian journal of rehabilitation medicine* 1: 26, 1969.
77. Hagbarth KE, Kunesch EJ, Nordin M, Schmidt R, Wallin EU. Gamma loop contributing to maximal voluntary contractions in man. *J Physiol* 380: 575–91, 1986.
78. Hallett M. Transcranial magnetic stimulation and the human brain. *Nature* 406: 147–50, 2000.
79. Harris NK, Cronin JB, Hopkins WG, Hansen KT. Relationship between sprint times and the strength/power outputs of a machine squat jump. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 22: 691–8, 2008.
80. Hendy AM, Spittle M, Kidgell DJ. Cross education and immobilisation:

- mechanisms and implications for injury rehabilitation. *J Sci Med Sport* 15: 94–101, 2012.
81. Hettinger T. Influence of sinusoidal oscillations of skeletal musculature. *Int Z Angew Physiol* 16: 192–7, 1956.
 82. Homma S, Desmedt JE. A survey of Japanese Research on muscle vibration. *New Developments in Electromyography and Clinical Neurophysiology*. Karger, Basel, 1973.
 83. Hortobagyi T. Cross education and the human central nervous system. *Engineering in Medicine and Biology Magazine, IEEE* 24: 22–8, 2005.
 84. Hortobagyi T, Dempsey L, Fraser D, Zheng D, Hamilton G, Lambert J, et al. Changes in muscle strength, muscle fibre size and myofibrillar gene expression after immobilization and retraining in humans. *The Journal of physiology* 524: 293–304, 2004.
 85. Hortobagyi T, Hill JP, Houmard JA, Fraser DD, Lambert NJ, Israel RG. Adaptive responses to muscle lengthening and shortening in humans. *Journal of Applied Physiology* 80: 765–72, 1996.
 86. Hortobagyi T, Lambert NJ, Hill JP. Greater cross education following training with muscle lengthening than shortening. *Medicine and science in sports and exercise* 29: 107–12, 1997.
 87. Hortobágyi T, Richardson SP, Lomarev M, Shamim E, Meunier S,

- Russman H, et al. Interhemispheric plasticity in humans. *Medicine and science in sports and exercise* 43: 1188, 2011.
88. Hortobagyi T, Scott K, Lambert J, Hamilton G, Tracy J. Cross-education of muscle strength is greater with stimulated than voluntary contractions. *Motor Control* 3: 205, 1999.
89. Houston ME, Froese EA, Valeriote SP, Green HJ, Ranney DA. Muscle performance, morphology and metabolic capacity during strength training and detraining: a one leg model. *European journal of applied physiology and occupational physiology* 51: 25–35, 1983.
90. ISPESL. Linee guida per un sistem di gestione della salute e sicurezza sul lavoro (S.G.S.L.) [Internet]. , 2001. Available from: http://www.ispesl.it/linee_guida/sgsl.htm
91. Issurin VB. Vibrations and their applications in sport. A review. *J Sports Med Phys Fitness* 45: 324–36, 2005.
92. Issurin VB, Liebermann DG, Tenenbaum G. Effect of vibratory stimulation training on maximal force and flexibility. *Journal of Sports Sciences* 12: 561–6, 1994.
93. Issurin VB, Tenenbaum G. Acute and residual effects of vibratory stimulation on explosive strength in elite and amateur athletes. *Journal of sports sciences* 17: 177–82, 1999.

94. Jones MT, Parker BM, Cortes N. The effect of whole-body vibration training and conventional strength training on performance measures in female athletes. *J Strength Cond Res* 25: 2434–41, 2011.
95. Kaneko F, Murakami T, Onari K, Kurumadani H, Kawaguchi K. Decreased cortical excitability during motor imagery after disuse of an upper limb in humans. *Clinical neurophysiology* 114: 2397–403, 2003.
96. Karnath H-O, Konczak J, Dichgans J. Effect of prolonged neck muscle vibration on lateral head tilt in severe spasmodic torticollis. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 69: 658–60, 2000.
97. Kawakami Y, Akima H, Kubo K, Muraoka Y, Hasegawa H, Kouzaki M, et al. Changes in muscle size, architecture, and neural activation after 20 days of bed rest with and without resistance exercise. *European journal of applied physiology* 84: 7–12, 2001.
98. Kawanabe K, Kawashima A, Sashimoto I, Takeda T, Sato Y, Iwamoto J. Effect of whole-body vibration exercise and muscle strengthening, balance, and walking exercises on walking ability in the elderly. *The Keio Journal of Medicine* 56: 28–33, 2007.
99. Kawashima R, Yamada K, Kinomura S, Yamaguchi T, Matsui H, Yoshioka S, et al. Regional cerebral blood flow changes of cortical motor areas and prefrontal areas in humans related to ipsilateral and contralateral hand movement. *Brain research* 623: 33–40, 1993.

100. Kerschan-Schindl K, Grapp S, Henk C, Resch H, Preisinger E, Fialka-Moser V, et al. Whole-body vibration exercise leads to alterations in muscle blood volume. *Clinical Physiology* 21: 377–82, 2001.
101. Kidgell DJ, Stokes MA, Pearce AJ. Strength training of one limb increases corticomotor excitability projecting to the contralateral homologous limb. *Motor Control* 15: 247–66, 2011.
102. Kim K, Cha YJ, Fell DW. The effect of contralateral training: Influence of unilateral isokinetic exercise on one-legged standing balance of the contralateral lower extremity in adults. *Gait Posture* 34: 103–6, 2011.
103. Kitazaki S, Griffin MJ. Resonance behaviour of the seated human body and effects of posture. *Journal of Biomechanics* 31: 143–9, 1997.
104. Kosar AC, Candow DG, Putland JT. Potential beneficial effects of whole-body vibration for muscle recovery after exercise. *J Strength Cond Res* 26: 2907–11, 2012.
105. Lagerquist O, Zehr EP, Docherty D. Increased spinal reflex excitability is not associated with neural plasticity underlying the cross-education effect. *J Appl Physiol* 100: 83–90, 2006.
106. Lam FMH, Lau RWK, Chung RCK, Pang MYC. The effect of whole body vibration on balance, mobility and falls in older adults: a systematic review and meta-analysis. *Maturitas* 72: 206–13, 2012.

107. Lamont HS, Cramer JT, Bemben DA, Shehab RL, Anderson MA, Bemben MG. The acute effect of whole-body low-frequency vibration on countermovement vertical jump performance in college-aged men. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 24: 3433, 2010.
108. Latella C, Kidgell DJ, Pearce AJ. Reduction in corticospinal inhibition in the trained and untrained limb following unilateral leg strength training. *Eur J Appl Physiol* 112: 3097–107, 2012.
109. Lee M, Gandevia SC, Carroll TJ. Unilateral strength training increases voluntary activation of the opposite untrained limb. *Clin Neurophysiol* 120: 802–8, 2009.
110. Lee M, Hinder MR, Gandevia SC, Carroll TJ. The ipsilateral motor cortex contributes to cross-limb transfer of performance gains after ballistic motor practice. *The Journal of physiology* 588: 201–12, 2010.
111. Leigh J, Macaskill P, Kuosma E, Mandryk J. Global burden of disease and injury due to occupational factors. *Epidemiology-Baltimore* 10: 626–31, 1999.
112. Liepert J, Tegenthoff M, Malin JP. Changes of cortical motor area size during immobilization. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology/Electromyography and Motor Control* 97: 382–6, 1995.
113. Lindberg J, Carlsson J. The effects of whole-body vibration training on gait

- and walking ability - a systematic review comparing two quality indexes. *Physiother Theory Pract* 28: 485–98, 2012.
114. Lohman EB 3rd, Petrofsky JS, Maloney-Hinds C, Betts-Schwab H, Thorpe D. The effect of whole body vibration on lower extremity skin blood flow in normal subjects. *Med Sci Monit* 13: CR71–76, 2007.
115. Lundbye-Jensen J, Nielsen JB. Central nervous adaptations following 1 wk of wrist and hand immobilization. *Journal of Applied Physiology* 105: 139–51, 2008.
116. Machado A, García-López D, González-Gallego J, Garatachea N. Whole-body vibration training increases muscle strength and mass in older women: a randomized-controlled trial. *Scandinavian journal of medicine & science in sports* 20: 200–7, 2010.
117. Magnus CRA, Barss TS, Lanovaz JL, Farthing JP. Effects of cross-education on the muscle after a period of unilateral limb immobilization using a shoulder sling and swathe. *Journal of Applied Physiology* 109: 1887–94, 2010.
118. Maloney-Hinds C, Petrofsky JS, Zimmerman G. The effect of 30 Hz vs. 50 Hz passive vibration and duration of vibration on skin blood flow in the arm. *Med Sci Monit* 14: 116, 2008.
119. Mansfield NJ, Holmlund P, Lundström R, Lenzuni P, Nataletti P. Effect of

- vibration magnitude, vibration spectrum and muscle tension on apparent mass and cross axis transfer functions during whole-body vibration exposure. *J Biomech* 39: 3062–70, 2006.
120. Markovic G, Jaric S. Is vertical jump height a body size-independent measure of muscle power? *Journal of Sports Sciences* 25: 1355–63, 2007.
121. Moore DR, Young M, Phillips SM. Similar increases in muscle size and strength in young men after training with maximal shortening or lengthening contractions when matched for total work. *Eur J Appl Physiol* 112: 1587–92, 2012.
122. Moran K, McNAMARA B, Luo J. Effect of Vibration Training in Maximal Effort (70% 1RM) Dynamic Bicep Curls. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 39: 526–33, 2007.
123. Muellbacher W, Facchini S, Boroojerdi B, Hallett M. Changes in motor cortex excitability during ipsilateral hand muscle activation in humans. *Clinical Neurophysiology* 111: 344–9, 2000.
124. Munn J, Herbert RD, Gandevia SC. Contralateral effects of unilateral resistance training: a meta-analysis. *J Appl Physiol* 96: 1861–6, 2004.
125. Munn J, Herbert RD, Hancock MJ, Gandevia SC. Resistance training for strength: Effect of number of sets and contraction speed. *Medicine and*

- science in sports and exercise 37: 1622–6, 2005.
126. Munn J, Herbert RD, Hancock MJ, Gandevia SC. Training with unilateral resistance exercise increases contralateral strength. *J Appl Physiol* 99: 1880–4, 2005.
 127. Murphy AJ, Wilson GJ. Poor correlations between isometric tests and dynamic performance: relationship to muscle activation. *European journal of applied physiology and occupational physiology* 73: 353–7, 1996.
 128. Nakayama H, Shibuya M, Kaneko N, Yamada M, Suzuki H, Arakawa M, et al. Benefit of in-phase chest wall vibration on the pulmonary hemodynamics in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Respirology* 3: 235–40, 1998.
 129. Nathan PW, Smith MC, Deacon P. The Corticospinal Tracts in Man Course and Location of Fibres at Different Segmental Levels. *Brain* 113: 303–24, 1990.
 130. Nazarov V, Spivak G. Development of athlete's strength abilities by means of biomechanical stimulation method. *Theory and Practice of Physical Culture (Moscow)* 12: 37–9, 1987.
 131. Necking LE, Lundström R, Dahlin LB, Lundborg G, Thornell L-E, Fridén J. Tissue displacement is a causative factor in vibration-induced muscle injury. *The Journal of Hand Surgery: British & European Volume* 21:

753–7, 1996.

132. Necking LE, Lundström R, Lundborg Gör, Thornell L-E, Fridén J. Skeletal Muscle Changes After Short Term Vibration. *Scandinavian Journal of Plastic and Reconstructive Surgery and Hand Surgery* 30: 99–103, 1996.
133. Nordlund MM, Thorstensson A. Strength training effects of whole-body vibration? *Scand J Med Sci Sports* 17: 12–7, 2007.
134. Orphanidou C, McCargar L, Birmingham CL, Mathieson J, Goldner E. Accuracy of subcutaneous fat measurement: Comparison of skinfold calipers, ultrasound, and computed tomography. *Journal of the American Dietetic Association* 94: 855–8, 1994.
135. Otis JC, Warren RF, Backus SI, Santner TJ, Mabrey JD. Torque production in the shoulder of the normal young adult male The interaction of function, dominance, joint angle, and angular velocity. *The American journal of sports medicine* 18: 119–23, 1990.
136. Paddan GS, Griffin MJ. Effect of seating on exposures to whole-body vibration in vehicles. *Journal of Sound and Vibration* 253: 215–41, 2002.
137. Palmer KT, Griffin MJ, Bendall H, Pannett B, Coggon D. Prevalence and pattern of occupational exposure to whole body vibration in Great Britain: findings from a national survey. *Occup Environ Med* 57: 229–36, 2000.
138. Palmieri RM, Ingersoll CD, Hoffman MA. The Hoffmann reflex:

- methodologic considerations and applications for use in sports medicine and athletic training research. *Journal of Athletic Training* 39: 268, 2004.
139. Paradisis G, Zacharogiannis E. Effects of whole-body vibration training on sprint running kinematics and explosive strength performance. *Journal of Sports Science and Medicine* 6: 44–9, 2007.
140. Perez MA, Cohen LG. Mechanisms underlying functional changes in the primary motor cortex ipsilateral to an active hand. *The Journal of Neuroscience* 28: 5631–40, 2008.
141. Plisky PJ, Rauh MJ, Kaminski TW, Underwood FB. Star Excursion Balance Test as a predictor of lower extremity injury in high school basketball players. *J Orthop Sports Phys Ther* 36: 911–9, 2006.
142. Preatoni E, Colombo A, Verga M, Galvani C, Faina M, Rodano R, et al. The effects of whole-body vibration in isolation or combined with strength training in female athletes. *J Strength Cond Res* 26: 2495–506, 2012.
143. Preatoni E, Colombo A, Verga M, Galvani C, Faina M, Rodano R, et al. The effects of whole-body vibration in isolation or combined with strength training in female athletes. *J Strength Cond Res* 26: 2495–506, 2012.
144. Rasch A, Dalén N, Berg HE. Muscle strength, gait, and balance in 20 patients with hip osteoarthritis followed for 2 years after THA. *Acta Orthop* 81: 183–8, 2010.

145. Rauch F. Vibration therapy. *Dev Med Child Neurol* 51 Suppl 4: 166–8, 2009.
146. Rehn B, Lidström J, Skoglund J, Lindström B. Effects on leg muscular performance from whole-body vibration exercise: a systematic review. *Scand J Med Sci Sports* 17: 2–11, 2007.
147. Rittweger J. Can exercise prevent osteoporosis? *Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions* 6: 162, 2006.
148. Rittweger J. Vibration as an exercise modality: how it may work, and what its potential might be. *Eur J Appl Physiol* 108: 877–904, 2010.
149. Rittweger J, Beller G, Felsenberg D. Acute physiological effects of exhaustive whole-body vibration exercise in man. *Clin Physiol* 20: 134–42, 2000.
150. Rittweger J, Ehrig J, Just K, Mutschelknauss M, Kirsch KA, Felsenberg D. Oxygen uptake in whole-body vibration exercise: influence of vibration frequency, amplitude, and external load. *Int J Sports Med* 23: 428–32, 2002.
151. Rittweger J, Felsenberg D. Recovery of muscle atrophy and bone loss from 90 days bed rest: results from a one-year follow-up. *Bone* 44: 214–24, 2009.
152. Rittweger J, Frost HM, Schiessl H, Ohshima H, Alkner B, Tesch P, et al.

Muscle atrophy and bone loss after 90 days' bed rest and the effects of flywheel resistive exercise and pamidronate: results from the LTBR study. *Bone* 36: 1019–29, 2005.

153. Rittweger J, Mutschelknauss M, Felsenberg D. Acute changes in neuromuscular excitability after exhaustive whole body vibration exercise as compared to exhaustion by squatting exercise. *Clinical physiology and functional imaging* 23: 81–6, 2003.
154. Roelants M, Delecluse C, Verschueren SM. Whole-Body-Vibration Training Increases Knee-Extension Strength and Speed of Movement in Older Women. *Journal of the American Geriatrics Society* 52: 901–8, 2004.
155. Rønnestad BR. Comparing the performance-enhancing effects of squats on a vibration platform with conventional squats in recreationally resistance-trained men. *Journal of Strength and Conditioning research* 18: 839–45, 2004.
156. Rønnestad BR, Holden G, Samnøy LE, Paulsen G. Acute effect of whole-body vibration on power, one-repetition maximum, and muscle activation in power lifters. *J Strength Cond Res* 26: 531–9, 2012.
157. Rønnestad BR, Kvamme NH, Sunde A, Raastad T. Short-term effects of strength and plyometric training on sprint and jump performance in professional soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning*

Research 22: 773–80, 2008.

158. De Ruiter C, Van Der Linden R, Van der Zijden M, Hollander A, De Haan A. Short-term effects of whole-body vibration on maximal voluntary isometric knee extensor force and rate of force rise. *European journal of applied physiology* 88: 472–5, 2003.
159. De Ruiter C, Van Der Linden R, Van der Zijden M, Hollander A, De Haan A. Short-term effects of whole-body vibration on maximal voluntary isometric knee extensor force and rate of force rise. *European journal of applied physiology* 88: 472–5, 2003.
160. Ruiter CJ, Raak SM, Schilperoort JV, Hollander AP, Haan A. The effects of 11 weeks whole body vibration training on jump height, contractile properties and activation of human knee extensors. *European journal of applied physiology* 90: 595–600, 2003.
161. Runge M, Rehfeld G, Resnicek E. Balance training and exercise in geriatric patients. *J Musculoskelet Neuron Interact* 1: 61–5, 2000.
162. Russo CR, Lauretani F, Bandinelli S, Bartali B, Cavazzini C, Guralnik JM, et al. High-frequency vibration training increases muscle power in postmenopausal women. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 84: 1854–7, 2003.
163. Sanders CE. Cardiovascular and peripheral vascular diseases treatment

- by a motorized oscillating bed. *Journal of the American Medical Association* 106: 916–8, 1936.
164. Sattin RW, Huber D a. L, Devito CA, Rodriguez JG, Ros A, Bacchelli S, et al. The Incidence of Fall Injury Events Among the Elderly in a Defined Population. *Am J Epidemiol* 131: 1028–37, 1990.
165. Sayenko DG, Masani K, Alizadeh-Meghbrazi M, Popovic MR, Craven BC. Acute effects of whole body vibration during passive standing on soleus H-reflex in subjects with and without spinal cord injury. *Neurosci Lett* 482: 66–70, 2010.
166. Schiessl H, Frost HM, Jee WS. Estrogen and bone-muscle strength and mass relationships. *Bone* 22: 1, 1998.
167. Schmidbleicher D. Training for power events. *Strength and power in sport* 1: 381–95, 1992.
168. Scripture EW, Smith TL, Brown EM. On the education of muscular control and power. *Stud Yale Psychol Lab* 2: 114–9, 1894.
169. Seidel H. Myoelectric reactions to ultra-low frequency and low-frequency whole body vibration. *Europ J Appl Physiol* 57: 558–62, 1988.
170. Seki K, Taniguchi Y, Narusawa M. Effects of joint immobilization on firing rate modulation of human motor units. *The Journal of physiology* 530: 507–19, 2001.

171. Shepard MK, Campbell BA. Shadows on a Planetary Surface and Implications for Photometric Roughness. *Icarus* 134: 279–91, 1998.
172. Sitjà-Rabert M, Rigau D, Vanmeerghaeghe AF, Romero-Rodríguez D, Subirana MB, Bonfill X. Efficacy of whole body vibration exercise in older people: a systematic review. *Disabil Rehabil* 34: 883–93, 2012.
173. Song G-E, Kim K, Lee D-J, Joo N-S. Whole Body Vibration Effects on Body Composition in the Postmenopausal Korean Obese Women: Pilot Study. *Korean Journal of Family Medicine* 32: 399, 2011.
174. Stedman A, Davey NJ, Ellaway PH. Facilitation of human first dorsal interosseous muscle responses to transcranial magnetic stimulation during voluntary contraction of the contralateral homonymous muscle. *Muscle & nerve* 21: 1033–9, 1998.
175. Von Stengel S, Kemmler W, Engelke K, Kalender WA. Effect of whole-body vibration on neuromuscular performance and body composition for females 65 years and older: a randomized-controlled trial. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 22: 119–27, 2012.
176. Stevenson MR, Hamer P, Finch CF, Elliot B, Kresnow M. Sport, age, and sex specific incidence of sports injuries in Western Australia. *British Journal of Sports Medicine* 34: 188–94, 2000.
177. Stinear CM, Walker KS, Byblow WD. Symmetric facilitation between

- motor cortices during contraction of ipsilateral hand muscles. *Experimental brain research* 139: 101–5, 2001.
178. Strens LH, Fogelson N, Shanahan P, Rothwell JC, Brown P. The ipsilateral human motor cortex can functionally compensate for acute contralateral motor cortex dysfunction. *Current biology: CB* 13: 1201, 2003.
179. Suetta C, Hvid LG, Justesen L, Christensen U, Neergaard K, Simonsen L, et al. Effects of aging on human skeletal muscle after immobilization and retraining. *Journal of Applied Physiology* 107: 1172–80, 2009.
180. Van den Tillaar R. Will whole-body vibration training help increase the range of motion of the hamstrings? *Journal of strength and conditioning research* 20: 192, 2006.
181. Torvinen S. Effect of whole body vibration on muscular performance, balance, and bone [Internet]. University of Tampere, 2003 [cited 2013 Feb 8]. Available from: http://www.ruthieharper.com/nma/wbv/wbv_on_muscle_balance_bone.pdf
182. Torvinen S, Kannus P, Sievanen H, Jarvinen TAH, Pasanen M, Kontulainen S, et al. Effect of four-month vertical whole body vibration on performance and balance. *Medicine and science in sports and exercise* 34: 1523–8, 2002.

183. Toscani V, Buniak Davis V, Stevens E, Donald Whedon G, Deitrick JE, Shorr E. Modification of the effects of immobilization upon metabolic and physiologic functions of normal men by the use of an oscillating bed. *The American Journal of Medicine* 6: 684–711, 1949.
184. Turner AP, Sanderson MF, Attwood LA. The acute effect of different frequencies of whole-body vibration on countermovement jump performance. *J Strength Cond Res* 25: 1592–7, 2011.
185. Urso ML, Clarkson PM, Price TB. Immobilization effects in young and older adults. *European journal of applied physiology* 96: 564–71, 2006.
186. Verschueren SMP, Roelants M, Delecluse C, Swinnen S, Vanderschueren D, Boonen S. Effect of 6-Month Whole Body Vibration Training on Hip Density, Muscle Strength, and Postural Control in Postmenopausal Women: A Randomized Controlled Pilot Study. *Journal of bone and mineral research* 19: 352–9, 2004.
187. Voelzke M, Stutzig N, Thorhauer H-A, Granacher U. Promoting lower extremity strength in elite volleyball players: Effects of two combined training methods. *J Sci Med Sport* 15: 457–62, 2012.
188. Wakeling JM, Nigg BM, Rozitis AI. Muscle activity damps the soft tissue resonance that occurs in response to pulsed and continuous vibrations. *J Appl Physiol* 93: 1093–103, 2002.

189. Ward K, Alsop C, Caulton J, Rubin C, Adams J, Mughal Z. Low magnitude mechanical loading is osteogenic in children with disabling conditions. *Journal of Bone and Mineral Research* 19: 360–9, 2004.
190. Wilcock IM, Whatman C, Harris N, Keogh JWL. Vibration training: could it enhance the strength, power, or speed of athletes? *J Strength Cond Res* 23: 593–603, 2009.
191. Wilms B, Frick J, Ernst B, Mueller R, Wirth B, Schultes B. Whole Body Vibration Added to Endurance Training in Obese Women - A Pilot Study. *International Journal of Sports Medicine* 33: 740–3, 2012.
192. Wilson GJ, Murphy AJ, Pryor JF. Musculotendinous stiffness: its relationship to eccentric, isometric, and concentric performance. *Journal of Applied Physiology* 76: 2714–9, 1994.
193. Wisløff U, Castagna C, Helgerud J, Jones R, Hoff J. Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *Br J Sports Med* 38: 285–8, 2004.
194. Wyon M, Guinan D, Hawkey A. Whole-body vibration training increases vertical jump height in a dance population. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 24: 866, 2010.
195. Yamanaka K, Yamamoto S, Nakazawa K, Yano H, Suzuki Y, Fukunaga T. The effects of long-term bed rest on H-reflex and motor evoked potential

- in the human soleus muscle during standing. *Neuroscience letters* 266: 101–4, 1999.
196. Yasuda N, Glover EI, Phillips SM, Isfort RJ, Tarnopolsky MA. Sex-based differences in skeletal muscle function and morphology with short-term limb immobilization. *Journal of Applied Physiology* 99: 1085–92, 2005.
197. Yue G, Cole KJ. Strength increases from the motor program: comparison of training with maximal voluntary and imagined muscle contractions. *Journal of Neurophysiology* 67: 1114–23, 1992.
198. Yue GH, Bilodeau M, Hardy PA, Enoka RM. Task-dependent effect of limb immobilization on the fatigability of the elbow flexor muscles in humans. *Experimental physiology* 82: 567–92, 1997.
199. Yue Z, Mester J. A model analysis of internal loads, energetics, and effects of wobbling mass during the whole-body vibration. *Journal of biomechanics* 35: 639–47, 2002.
200. Zhou S. Chronic neural adaptations to unilateral exercise: mechanisms of cross education. *Exercise and sport sciences reviews* 28: 177–84, 2000.